

ГК "РОСТЕХНОЛОГИИ"
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ТОРГОВЛИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НАУКЕ И ИННОВАЦИЯМ
РОССИЙСКАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ОБНИНСКОЕ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ТЕХНОЛОГИЯ"



КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ
ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ



ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ
ХІХ МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

5-7 октября 2010 г.
ОБНИНСК

ХІХ международная
Научно-техническая конференция

**КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ
ПОЛУЧЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ
ИЗ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Сборник тезисов докладов

Учредители конференции:

ГК «Ростехнологии»

Министерство промышленности и торговли

Федеральное агентство по науке и инновациям

Российская инженерная академия

Государственный научный центр Российской Федерации

Федеральное государственное унитарное предприятие

«Обнинске научно-производственное предприятие «Технология»

Обнинск, 2010

Под общей редакцией докт. техн. наук, проф., акад. *В.В.Викулина*.

Редакционная коллегия:

М.Ю.Русин, докт. техн. наук (председатель, научный редактор);

В.И.Самсонов, докт. техн. наук (научный редактор);

Г.С.Шуль, докт. техн. наук (научный редактор);

В.В.Кирюшина; А.М.Каплунова, канд. хим. наук; *Л.А.Климакова*.

Сборник подготовили: *И.Л.Шкарупа* (ответственный за выпуск);

Л.К.Ващенко (редактор); *Д.А.Бубало*.

Компьютерный набор и верстка текста ФГУП «ОНПП «Технология».

© 249031, г. Обнинск Калужской обл., Киевское шоссе, 15
ФГУП «ОНПП «Технология»

Программный комитет

- В.В. Викулин* – председатель программного комитета, генеральный директор ФГУП “ОНПП “Технология”, д.т.н., профессор, академик МИА и Всемирной академии керамики
- Е.Н. Каблов* – генеральный директор ФГУП “ВИАМ”, д.т.н., профессор, академик РАН
- И.В. Рой* – начальник Департамента промышленных активов ГК “Ростехнологии”
- А.М. Кочнев* – начальник Управления инновационного развития ГК “Ростехнологии”
- В.И. Бабкин* – директор Департамента авиационной промышленности Минпромторга России, к.т.н.
- К.Ю. Шубский* – генеральный директор Научно-производственного концерна “Композиционные материалы и технологии”
- А.Г. Мустафин* – вице-президент АН Республики Башкортостан, д.х.н., профессор, член-корреспондент АН РБ
- А.Е. Ушаков* – генеральный директор ООО НПП “АпАТэК”, д.т.н., профессор
- И.В. Горская* – генеральный директор Ассоциации государственных научных центров
- В.Н. Сигаев* – заместитель руководителя центра оптического стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, д.х.н., профессор
- А.Г. Ромашин* – д.т.н., профессор, академик РИА и МИА, Всемирной академии керамики
- О.С. Сироткин* – генеральный директор ОАО “НИАТ”, д.т.н., профессор, академик ИАН РФ
- А.А. Кульков* – первый заместитель генерального директора и главного конструктора ОАО “ЦНИИСМ”, д.т.н., профессор
- А.Н. Тимофеев* – первый заместитель генерального директора ОАО “Композит”, к.т.н.
- В.С. Боголюбов* – директор ОНЦ “Композит”, д.т.н., профессор, академик РИА и МИА
- Я.С. Карпов* – заведующий кафедрой Национального аэрокосмического университета Украины “ХАИ”, д.т.н., профессор
- Т.Д. Каримбаев* – начальник отдела ФГУП “ЦИАМ им. П.И. Баранова”, д.т.н., профессор
- В.Н. Савицкий* – заместитель директора по научной работе Института механики металлополимерных систем НАН Беларуси, к.т.н., доцент
- В.Р. Дуфлот* – заместитель директора по научной работе филиала ФГУП “НИФХИ им. Л.Я. Карпова”, д.х.н., профессор

ВВЕДЕНИЕ

Исследования и разработки, проводимые на границе нескольких областей знаний при взаимном использовании научных результатов, позволяют создавать принципиально новые технологии материалов и изделий, которые успешно внедряются в серийное производство. Именно поэтому тематика научно-технической конференции "Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов" рассматривает проблемы в области прогрессивных полимерных композиционных материалов, керамики со специальными свойствами и конструкционных стеклообразных материалов с многофункциональными покрытиями. Комплексный подход при создании новых изделий включает материаловедческие, конструкторско-технологические прикладные исследования и разработки, опытно-экспериментальную отработку, серийное производство и испытания качества уникальной наукоемкой продукции, востребованной на российском и зарубежном рынке.

В настоящее время объем применения полимерных композиционных материалов стал одним из ключевых конкурентных преимуществ, поднимающих эксплуатационные характеристики новых образцов наземной, воздушной и ракетно-космической техники на качественно новый уровень, не достижимый при использовании традиционных металлов.

Результаты научных исследований убедительно показывают, что создание принципиально новых технологий и конструктивных решений на основе сложнопрофильных трикотажных наполнителей, традиционных и безавтоклавных методов формования интегральных композитных изделий, технологий с использованием микроволнового нагрева и современного высокопроизводительного оборудования для их реализации позволит увеличить применение полимерных композиционных материалов, например, в планере самолета до 45%, сократить производственный цикл на 20% и снизить материалоемкость на 15%. В тезисах докладов отмечается, что перспективным является создание связующих с требуемыми высокими адгезионными характеристиками, повышенной ударной вязкостью, термической и климатической стойкостью.

В области керамических материалов ведутся исследования по созданию нового класса конструкционных материалов – керамоматричных композитов. На основе наноразмерных порошков создаются материалы для твердых электролитов, пар трения, прецизионных деталей волоконно-оптических линий связи. Российскими учеными впервые в мире получены керамические материалы с эффектом самоармирования, благодаря чему прочность и ресурс работы изделий значительно увеличились. Технология производства сверхчистой керамики позволяет создавать тигли для выращивания монокристаллов и плавки высокочистых сплавов при температурах до 2500°C.

Сложности при разработке антенных обтекателей для современных летательных аппаратов объясняются повышенными требованиями по радиопрозрачности в широком диапазоне частот, малой величине угловой ошибки и ее градиента, высокой стабильности радиотехнических характеристик и механической прочности в условиях повышенной температуры. Это ставит новые задачи в создании специальных полимерных композиционных, керамических и стеклокерамических радиопрозрачных материалов, технологий их переработки в изделия.

Силикатные и органические материалы для изделий остекления кабин пилотов, иллюминаторов пассажирских и транспортных самолетов, подводных и космических аппаратов также претерпевают существенные изменения. К ним предъявляются дополнительные требования по снижению электромагнитного излучения, потока солнечного тепла и ультрафиолета, исключению двоения изображения при сохранении светопропускания. При этом требуется повышение прочности, долговечности и абразивной стойкости. Отмечено, что крайне перспективным является проведение научно-исследовательских работ по созданию остекления на основе гетерогенных композиций, которое будет иметь меньшую массу по сравнению с силикатными стеклами, но при этом обладать достоинствами силикатного и органического стекол. На базе промышленного оборудования для нанесения многофункциональных оптических

покрытий ведутся работы в области создания “умных стекол” с регулируемой прозрачностью для создания комфортных условий для экипажа и пассажиров.

Отмечено, что применение наноматериалов обеспечивает не только придание дополнительных положительных свойств композитам, керамике или стеклу, включая электро- и теплопроводность, но и существенно повышает стабильность их механических характеристик и технологичность переработки в изделия.

Конференция традиционно проходит в Государственном научном центре РФ ФГУП “Обнинское научно-производственное предприятие “Технология”, которое занимает лидирующее положение в области научных проблем, рассматриваемых в тематике данной конференции, о чем свидетельствуют разработанные и производимые на предприятии крупногабаритные углепластиковые головные обтекатели РН “Протон”, “Рокот”, “Ангара”, сложнопрофильные композитные детали истребителя V поколения Т-50, радиопрозрачные укрытия, авиационное и железнодорожное остекление с многофункциональными покрытиями.

Опыт работы ОНПП “Технология” и многих ведущих предприятий России убедительно демонстрирует эффективную реализацию инновационного механизма создания наукоемкой конкурентоспособной на мировом рынке продукции, когда результаты прикладных исследований и разработок оперативно внедряются в собственном производстве.

В сборник трудов конференции включены тезисы 112 докладов, представленных на XIX Международной научно-технической конференции “Конструкции и технологии получения изделий из неметаллических материалов”, которая проходила с 5 по 7 октября 2010 года в первом наукограде Российской Федерации городе Обнинске Калужской области.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Викулин В.В., Мухин Н.В., Свиридов А.Г., Выморков Н.В. Применение ПКМ в технологиях изготовления конструкций для авиа-космической техники ...	16
Долматов С.А. Перспективы нанокompозитов для авиационно-космической техники.....	16
Климакова Л.А., Половый А.О., Зельнев В.Н. Моделирование поведения углепластиковой размеростабильной антенной платформы космического аппарата при температурном и силовом нагружениях	18
Хмельницкий А.К., Мазур В.В., Разина Г.М., Ширина О.В., Гончаров К.А., Тарабрин А.А. Анализ применения теплопроводного, ультравысокомодульного углепластика в панелях систем терморегулирования космических аппаратов.....	20
Сливинский В.И., Карпикова О.А., Ткаченко Г.В. Анализ сотовых заполнителей из алюминиевой фольги, применяемых в конструкциях авиакосмического назначения.....	21
Выморков Н.В., Степанов Н.В. Окантовочный элемент трехслойной конструкции для звукопоглощающих панелей авиационных двигателей	23
Пейчев Г.И., Замковой В.Е., Николаевский С.В., Мурашкин Е.И., Тимошенко Е.В., Рожнов Е.Б. Лопатка статора авиадвигателя из полимерных композитов	24
Атрощенко И.Г., Козедра П.А., Куликов Д.А., Василенко В.В., Кулиш В.Г., Степанов П.А. Разработка широкополосных радиопрозрачных изделий из композиционных материалов	25
Лепикаш Е.Р., Обухова Н.С., Шуль Г.С., Баранов А.А., Шкиркова Л.М. Крупногабаритные радиопрозрачные изделия из стеклопластиков	27
Суханов А.В., Мараховский С.С. Конструктивно-технологическая концепция цилиндрических оболочек с многостеночным пултрузионным заполнителем	28
Сафонов А.А., Озеров С.Н. Автоматизированное проектирование и расчет себестоимости типовой конструкции из пултрузионных профилей пандусного схода для инвалидов.....	30
Сафонов А.А. Опыт применения математического моделирования технологических процессов изготовления композиционных изделий	31

Ким М.А., Ямицков Г.А., Панина Н.Н., Гуревич Я.М., Чурсова Л.В., Бабин А.Н., Коган Д.И., Вешкин Е.А. Новое высокопрочное связующее расплавного типа для конструкционных материалов с рабочей температурой 120°C	32
Дементьева Л.А., Лукина Н.Ф., Серезенков А.А., Куцевич К.Е. Основные свойства и назначение ПКМ на основе клеевых препрегов	34
Богданов А.П., Маслов А.С., Чегодаев П.П. Исследование препрега КМКС диэлектрическим, реометрическим и дифференциального термического анализа методами.....	35
Томчани О.В., Обухова Н.С., Миронова Е.И., Юдина Л.В., Найденова Н.С., Шуль Г.С. Применение термических методов анализа при оценке качества связующих для ПКМ.....	37
Томчани О.В., Ворвуль С.В., Хабенко А.В., Котухова А.М., Мосиук В.Н., Попов А.Г. Исследование свойств расплавного эпоксибисмалеимидного связующего и композитов на его основе.....	38
Томчани О.В., Сидоренко М.А., Мосиук В.Н., Миронова Е.И., Морозова З.В. Исследование режимов формования углепластиков из однонаправленных препрегов на основе расплавного эпоксибисмалеимидного связующего.....	40
Мосиук В.Н., Томчани О.В., Сидоренко М.А., Долматов С.А. Термостойкие термореактивные связующие для высококачественных полимерных композиционных материалов	41
Ахмадиева К.Р., Мухаметов Р.Р., Чурсова Л.В. Связующие для перспективных технологий получения КМ.....	43
Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Канзафарова Ю.И. Термореактивные связующие для изготовления конструкционных ПКМ методом RTM	44
Суханов А.В. Исследование особенностей переработки базальтоволокнистых композитов	46
Кичибекова И.Е., Кравченко К.Г., Соколова А.В. Изготовление и испытания образцов из композиционных материалов на стойкость к воздействию агрессивных сред.....	47
Зеленко В.Т. Оптимизация технологического процесса получения препрега для изготовления стеклотекстолитов марки СТЭФ.....	48

Хруленко М.А. Разработка технологии изготовления брусьев и плит безбалластного мостового полотна из КМ	49
Дубинский С.В., Корниенко Е.И. Освоение технологии вакуумной инфузии для изготовления пролетных строений арочного моста	50
Артамонова Т.А., Шашунькина О.В., Савченкова Г.А. Герметизирующие ленты серии Абрис-А для вакуумного формования полимерно-композиционных материалов	51
Иванов В.Н., Никитин Б.М., Брыков С.И., Добровольская В.И., Будкин Г.В. Возможности использования высокочастотных электромагнитных полей при получении композиционных материалов.....	52
Леус З.Г., Ткачев А.Г., Блохин А.Н., Колесникова Н.А. Использование углеродных нанотрубок серии "Таунит" в полимерных композиционных материалах.....	53
Обухова Н.С., Райлян Л.В., Лепикаш Е.Р. Влияние нанопорошков на кинетику отверждения и физико-механические характеристики эпоксистерклопластиков	54
Денисова Е.В., Юдаева Е.И., Волков В.С., Ворвуль С.В., Шуль Г.С., Выморков Н.В. Стеклопластиковый сотовый наполнитель на основе полимерных связующих	56
Крюков А.М., Волков В.С., Садикова Н.А., Денисова Е.В., Шуль Г.С. Особенности технологии изготовления крупногабаритных блоков сотопластов на основе стеклотканей.....	57
Попов А.Г., Петрова О.Л. Особенности экспериментального определения прочностных и упругих характеристик высокомодульных полимерных композиционных материалов.....	58
Попов А.Г., Матюшевский Н.В., Савельев Д.И. Оценка различных методов испытаний для определения прочностных и упругих характеристик углепластика при сдвиге в плоскости листа.....	59
Горелый К.А., Малютин Е.В., Сахоненко В.М. Неупругая составляющая при сжатии ткани.....	60
Стариковский Г.П., Кобзев М.В., Жовнер П.Б., Амосов А.И. Автоматизированная система регистрации, обработки и хранения результатов неразрушающего контроля.....	61
Стариковский Г.П., Курятин А.А., Карабутов А.А. Неразрушающий контроль интегральных конструкций из полимерных композиционных материалов	62

Мухин Н.В., Стариковский Г.П., Иванов В.Г., Курятин А.А., Богачев А.С. Автоматизированный ультразвуковой бесконтактный контроль изделий из ПКМ.....	63
Ордынцев В.М. Тензометрическая система мониторинга силовых конструкций из композиционных материалов.....	64
Лисаченко Н.Г., Петрова О.Л., Попов А.Г. Анализ процесса аттестации связующего ЭНФБ с применением статистических методов управления качеством	65
Мерзляков В.В., Никитюк В.А., Пашутов А.В., Терешонков М.А., Уфимцев А.И. Воздухозаборники из композиционных материалов для наземной отработки турбореактивных двигателей.....	66
Серкова Е.А., Швец Н.И., Застрогина О.Б., Постнов В.И., Петухов В.И., Вешкин Е.В., Барботько С.Л. Быстроотверждаемое фенолформальдегидное связующее, перерабатываемое по “crush core” технологии, для пожаробезопасных материалов интерьера.....	67
Малый Н.А., Алиев А.М., Зевако В.С., Желтов П.Н. Создание слоистых полимерных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками и технология их изготовления	69
Гафаров Б.Р., Милехин Ю.М., Гусев С.А., Уткин А.В. Демпфирование ударных волн в композитах с микросферическим наполнителем	69
Бохоева Л.А., Зангеев Б.И., Дамдинов Т.А. Экспериментальное исследование образцов из слоистых композиционных материалов с технологическими дефектами.....	71

КОНСТРУКЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Русин М.Ю., Антонов В.В., Ромашин В.Г. Научно-технические проблемы создания перспективных конструкционных материалов для обтекателей управляемых ракет	74
Ершова Н.И. Результаты научно-технической деятельности предприятия: от разработки до внедрения.....	76
Алифанов О.М., Черепанов В.В. Моделирование теплофизических и радиационных свойств высокопористых теплозащитных материалов	77
Карагедов Г.Р., Ляхов Н.З. Получение нанопорошков и плотной наноструктурной керамики из альфа- оксида алюминия	79

Ильющенко А.Ф., Барай С.Г., Виолентий Д.Р. Инжекционное формование керамики из литевых составов Catamold	79
Вартамян М.А., Лукин Е.С., Попова Н.А., Ковалев Д.Ю. Синтез в твердой фазе легкоплавкой эвтектики в системе CaO – В ₂ O ₃ – SiO ₂	81
Борисенко Н.И., Петросян Г.Р. Теплопроводная электроизоляционная керамическая масса.....	83
Борисенко Н.И., Лусин П.А., Чичиро Е.А. Износостойкий твердый сплав ВК8УДП.....	85
Батанова О.А. Специфика расчета термонапряженных изделий из конструкционной и функциональной керамики	88
Шмурадко В.Т., Овчинников В.И., Роман О.В., Реут О.П. Импульсное формование порошковых керамических изделий	90
Шмурадко В.Т., Овчинников В.И. Получение бикерамических стаканов-дозаторов для машин непрерывного литья заготовок.....	92
Сафаралиев Г.К., Шабанов Ш.Ш., Садыков С.А., Билалов Б.А., Кардашова Г.Д. Диэлектрические свойства поликристаллических твердых растворов SiC–AlN.....	94
Шахметов У.Ш., Васин К.А., Валеев И.М., Набиуллин И.Р., Якупова Л.В. Технология получения и ползучесть некоторых безобжиговых композиций на фосфатных связках.....	96
Доморацкий А.Н., Тимофеев А.Н., Богачев Е.А., Лахин А.В., Дворецкий А.Э., Тащилов С.В., Вагин В.П., Чернокожев И.И. Разработка стойких к окислению углерод-керамических материалов многоразового использования с рабочей температурой до 1700°С для пилотируемой транспортной системы	97
Викулин В.В., Алексеев М.К., Шкарупа И.Л. Исследование влияния некоторых промышленно доступных нанопорошков на прочность бетонов на основе глиноземистого цемента.....	99
Келина И.Ю., Курская И.Н., Рудыкина В.Н., Ганичев А.И., Шеянов В.Ю., Шамшетдинов К.Б., Шаталин А.С. Технологические аспекты получения оболочек антенных обтекателей из реакционносвязанного нитрида кремния	100
Рогов В.А., Шкарупа М.И. Исследование эффективности механической обработки изделий типа оболочек вращения двойной кривизны из конструкционной керамики	102

Келина И.Ю., Голубева Н.А., Ленский В.В., Посыпкина Л.А., Чикина А.А., Чевыкалова Л.А.	
Комбинированные бронепанели для СИБ повышенной живучести.....	104
Келина И.Ю., Шаталин А.С., Чевыкалова Л.А., Михальчик И.Л., Аракчеев А.В.	
Состояние и перспективы разработки ультравысокотемпературных керамических материалов для применения в гиперзвуковых авиакосмических объектах	105
Забезжайлов М.О., Анучин С.А.	
Анализ влияния радиационного теплопереноса на точность определения коэффициента теплопроводности частично прозрачных материалов.....	107
Кирюшина В.В., Фетисов В.С., Куракин В.И.	
Вероятностное проектирование антенных керамических обтекателей летательных аппаратов.....	110
Фетисов В.С., Апрощенко В.Ф., Кирюшина В.В., Мужанова Л.П.	
Оценка стойкости к случайному удару керамики на основе SiO ₂	112
Якушкина В.С., Кораблева Е.А., Викулин В.В., Русин М.Ю., Саванина Н.Н., Плясункова Л.А.	
Исследование трибологических характеристик керамики систем ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ , ZrO ₂ -Y ₂ O ₃ -Al ₂ O ₃ , полученной из наноструктурных порошков	113
Середа Г.Н., Воробьев С.Б.	
Экспериментальное исследование по оценке модулей упругости керамических покрытий, нанесенных на металлические образцы методом плазменного напыления.....	114
Райлян В.С., Алексеев Д.В., Фокин В.И.	
Моделирование теплопрочностных испытаний с помощью контактных нагревателей	116
Неповинных В.И., Хитрик В.Л., Терехин А.В.	
Исследования влияния комплексного воздействия вибрации и тепла на сохраняемость прочностных свойств узла соединения керамической оболочки обтекателя с металлическим шпангоутом	116
Воробьев В.Н., Кашкарова Е.М.	
Равноплотный теплоизоляционный материал на основе ультратонких базальтовых волокон	117
Григорьев Г.В., Григоров В.В., Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Русин М.Ю., Саванина Н.Н., Русанова Л.Н.	
Керамический фильтроэлемент с наноструктурной мембраной.....	118
Арутюнян Г.Р., Томчани О.В., Павлова В.П., Шуль Г.С.	
Наноструктурный теплоизоляционный материал со сверхнизкой теплопроводностью.....	119
Саванина Н.Н., Горчакова Л.И., Алексеев М.К., Жуков А.А.	
Пористые подложки на основе оксида алюминия.....	121

Кораблева Е.А., Якушкина В.С., Викулин В.В., Русин М.Ю., Саванина Н.Н., Некрасов Е.В. Исследование возможности получения слоистых структур с газоплотным твердым электролитом на основе ZrO_2 для различных электрохимических устройств	122
Кораблева Е.А., Некрасов Е.В., Бизин И.Н., Жуков А.А. Разработка керамической колодки для планарных датчиков кислорода	123
Кораблева Е.А., Якушкина В.С., Короткий С.А., Саванина Н.Н. Изучение влияния условий синтеза наноразмерных порошков диоксида циркония на свойства газоплотной твердоэлектролитной керамики	124
Ермолаев А.С., Кораблева Е.А., Плясункова Л.А. Исследование возможности определения размеров нанокристаллитов и изучение влияния размерного фактора на спекаемость твердоэлектролитной керамики на основе ZrO_2	125
Русанова Л.Н., Саванина Н.Н., Горчакова Л.И. Изделия из волластонита для литейных установок алюминиевого производства.....	126
Куликова Г.И., Алексеев М.К., Цветкова М.М., Бизин И.Н. Разработка технологии изготовления контейнера фильтра для очистки расплава алюминия из материалов на основе волластонита и бетонов	128
Алексеев М.К., Горчакова Л.И., Куликова Г.И. Микропористый материал на основе алюмосиликатов для керамических ультрафильтров	129
Храновская Т.М., Саванина Н.Н., Русин М.Ю. Литые огнеупоры для металлургии и керамической промышленности	130
Викулин В.В., Бубало Д.А., Григоренко Н.П., Петров В.Б. Организация информационной поддержки изделий из керамики на стадии производства.....	131

СТЕКЛООБРАЗНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Саркисов П.Д., Сигаев В.Н. Новые полифункциональные стеклообразные и стеклокристаллические материалы	133
Павлушкина Т.К. Разработка прозрачных радиозащитных стекол методом ионной имплантации	133
Саркисов П.Д., Орлова Л.А., Уварова Н.Н., Попович Н.В. Радиопрозрачные стеклокристаллические материалы на основе стронциевого анортита.....	135
Голубев Н.В., Мамаджанова Е.Х., Саркисов П.Д., Сигаев В.Н., Малашкевич Г.Е. Люминесцентные свойства хантитоподобных стекол	137

Бондарева Л.Н., Горина И.Н., Жималов А.Б., Кособудский И.Д., Полкан Г.А. Физико-химические исследования механодиспергированных гетерогенных смесей красителей в производстве тонированного стекла	138
Савинков В.И., Голубев Н.В., Саркисов П.Д., Сигаев В.Н. О возможных применениях борогерманатных стекол в лазерной технике	138
Лотарев С.В., Бахтамаева А.С., Сигаев В.Н., Присеко Ю.С. Локальная кристаллизация лантаноборогерманатного стекла, активированного неодимом, под действием лазерного излучения.....	139
Голубев Н.В., Игнатьев Е.С., Саркисов П.Д., Сигаев В.Н., Булатов Л.И., Машинский В.М., Плотниченко В.Г., Дианов Е.М. Инициирование люминесцентных свойств путем формирования нанокристаллов в галлийсодержащих стеклах, допированных никелем	140
Сысоев В.К., Верлан А.А., Вятлев П.А. Математическое моделирование движения расплава стекла в процессе формирования тонкой стеклоленты	141
Рыженков В.С., Голубев Н.В., Лотарев С.В., Савинков В.И., Сигаев В.Н., Стефанович С.Ю. Получение сегнетоэлектрической стеклокерамики на основе KNbO_3 из аморфной фазы	142
Саркисов П.Д., Сигаев В.Н., Голубев Н.В., Лопатина Е.В., Лотарев С.В., Савинков В.И. Разработка универсальной опытно-промышленной линии производства припоечных материалов на основе стекла	143
Сигаев В.Н., Каплунова А.М., Рябина О.В. Исследование легкоплавких висмутсодержащих стекол с высокой химической устойчивостью	143
Атрощенко Г.Н., Голубев Н.В., Лотарев С.В., Савинков В.И., Сигаев В.Н. Стекланные микросферы в системе $\text{Y}_2\text{O}_3\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$	144
Алексеева Л.А., Воропаева М.В., Келина Р.П. Исследования по синтезу ситаллов для подложек тонких номиналов	144
Богатов В.А., Захаров С.С., Кисляков П.П., Крынин А.Г., Хохлов Ю.А. Металл-диэлектрическое покрытие с барьерным слоем нитрида алюминия для теплозащитного остекления.....	145
Богатов В.А., Захаров С.С., Кисляков П.П., Крынин А.Г., Хохлов Ю.А. Ионно-стимулированное нанесение покрытий диоксида титана на оптические детали из органического стекла	146
Стороженко П.А., Поливанов А.Н., Федотова Т.И., Сунеканц Т.И., Левчук А.В., Власова В.А. Кремнийорганические золь-гель наноконпозиты на основе алкоксисиланов.....	148

Просовский О.Ф., Исамов А.Н., Соловьева Л.Н., Просовская Г.Ю. Особенности мониторинга толщины наносимых в вакууме тонкопленочных покрытий с помощью кварцевого датчика	149
Самсонов В.И., Кауппонен Б.А., Петрачков Д.Н., Пигалев А.Е., Просовский О.Ф., Темных В.И., Ткаченко П.Я. Разработка и внедрение в производство композиций из многофункциональных наноразмерных металлооптических и кремнийорганических покрытий и технологий их нанесения на изделия авиационного остекления, обеспечивающих защиту экипажа от воздействия внешних факторов и малозаметность на радарх	149
Пестов А.В., Пигалев А.Е., Петрачков Д.Н., Кауппонен Б.А., Самсонов В.И. Усовершенствованная технология нанесения покрытия на крупногабаритные сложнопрофильные изделия с использованием многокомпонентного раствора жидких пленок и устройство для ее осуществления	151
Исамов А.Н., Просовский О.Ф., Мурашов С.А., Гвоздев А.Б. Модернизация экспериментальной вакуумной установки типа БАК -760	154
Пигалев А.Е., Петрачков Д.Н., Пестов А.В., Кузьмина Е.В., Темных В.И. Электрообогревное стеклоизделие.....	154
Осипова Н.А., Ромакин А.Н., Рудаковский А.Л., Федоров В.А. Динамические испытания композиций вертолетного остекления.....	156
Пестов А.В., Антонов И.В., Кауппонен Б.А., Силенок Н.А., Лисютин И.А. Форма для моллирования листового стекла.....	156
Пестов А.В., Антонов И.В., Кауппонен Б.А., Силенок Н.А., Шаталин В.А. Форма моллирования, состоящая из двух сочлененных между собой параболических поверхностей	158
Пестов А.В., Максимова Л.И. Устройство регулирования процесса моллирования стеклозаготовок на форме	160
Агафонов А.В., Давыдова О.И., В.И.Самсонов, Тростин В.Н., В.В.Викулин Полимер-ассистируемый золь-гель синтез функциональных покрытий	162
Павловский Д.В., Томашевский А.А., Найденова Н.С. Литое органическое стекло Plexiglas GS 249, GS 245: перспективы использования для остекления отечественной авиационной техники	162

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

ПРИМЕНЕНИЕ ПКМ В ТЕХНОЛОГИЯХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ АВИАКОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

В.В.Викулин, Н.В.Мухин, А.Г.Свиридов, Н.В.Выморков
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Государственный научный центр РФ ФГУП “ОНПП “Технология” занимает лидирующие позиции в области неметаллических материалов (полимерных композиционных материалов (ПКМ), конструкционной керамики, оптического и цветного стекла, ситаллов) для авиационной и ракетно-космической техники.

Создаются уникальные конструкции из ПКМ для авиакосмических объектов: головные обтекатели ракет-носителей “Протон-М”, “Рокот”, “Ангара”; размеростабильные каркасы и панели терморегулирования для спутника связи “Купон”, космического радиотелескопа “Спектр – Радиоастрон”, космических аппаратов “Кондор”, “Ramos”, “Ямал”; интегральные агрегаты фюзеляжа, крыла, хвостового оперения, панели пола и внутреннего интерьера самолетов Ил-114, Ту-204, Ту-334, Су-29, Су-31, Су-47 “Беркут” и др.

Ведется разработка конструкций для перспективных самолетов нового поколения И-21, МС-21, SSJ.

В целях выполнения международных норм ИКАО по уровню шума разрабатываются звукопоглощающие панельные сотовые конструкции из ПКМ с высокими акустическими характеристиками для силовых установок самолетов Ту-204, Ил-76МФ, Ил-96, SSJ, двигателя ПС-90, SAM-146 (совместное производство фирмы SNEKMA и “Сатурн”), а также перспективного самолета МС-21.

Проводятся работы по разработке и серийному производству новых препрегов на основе однонаправленных и тканых углеродных отечественных и зарубежных наполнителей, модифицированных и вновь разработанных связующих.

Проводятся работы по исследованию упруго-прочностных характеристик углепластика на основе эпоксидной матрицы, модифицированной наночастицами, а также исследованию влияния углеродных нанотрубок на прочностные характеристики полимерных композиционных материалов для перспективных изделий специального назначения и повышения упруго-прочностных характеристик углепластика модификацией углеродных наполнителей с предварительной обработкой углеродной ленты аддуктами нанокластеров углерода, нанотрубками и наночастицами.

Выполненная в рамках международного проекта “Atlas” разработка прецизионных размеростабильных конструкций из углепластика для детектора переходного излучения строящегося европейского ускорителя LHC получила высокую оценку специалистов CERNa (Швейцария): отмечена специальной наградой CERN “За высочайшее качество продукции”.

ПЕРСПЕКТИВЫ НАНОКОМПОЗИТОВ ДЛЯ АВИАЦИОННО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

С.А.Долматов (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Цель доклада – показать на примере некоторых композиционных материалов конструкционного назначения, какие существующие в этой области проблемы и задачи можно принципиально решить применением наночастиц. Речь идет о применении в первую очередь

углеродных нанотрубок, а также наноглин, и, отчасти, диоксида титана и пирогенного диоксида кремния (аэросила). Проблема композитов в связи с наночастицами заключается в адаптации существующей технологии получения композитов к необычным свойствам наночастиц, а задачами являются улучшение за счет введения в состав композита наночастиц его механических характеристик, в первую очередь прочности, жесткости, вязкости разрушения и разброса значений этих свойств.

Доклад носит обзорный, фрагментарный характер, так как автор стремится вкратце показать, что, по его мнению, в области композитов является проблемой, какие задачи решены принципиально, что сделано в промышленном масштабе и какие обстоятельства способствуют продвижению наночастиц на рынок композитов, а также, что этому препятствует. Кроме этого автор пытается каждое свое утверждение подкрепить фактическими данными, опираясь на литературные источники, в том числе на источники из числа редко цитируемых в отечественной литературе по нанопроблематике журналов и малодоступных монографий. Несколько слов надо сказать о терминологии. Наночастицы имеют хотя бы один размер ≤ 100 нм. Кроме своего размера они имеют, зачастую, редкие свойства или их сочетания, например, огромную площадь на единицу веса (приблизительно, 50-1000 м²/г, например, у пирогенного диоксида кремния); необычайно высокие прочность и жесткость (приблизительно, 150 и 1500 ГПа, соответственно, например, у углеродных нанотрубок) и т.д. Технология получения и переработки модифицируемого материала должна сохранить во вновь полученном материале размер использованной наночастицы. При этом в свойствах полученного материала должно проявиться в какой-то мере исходное (не обязательно то же самое) выдающееся свойство наночастицы, т.е. должно возникнуть новое качество у материала или же резко увеличиться значение какого-либо ранее бывшего у материала нужного свойства. В этом случае полученный материал называется наноматериал, например, нанокомпозит, а технология – нанотехнология.

Высококачественные полимерные композиционные материалы (ПКМ) в первую очередь на основе углеродных волокон (УВ), а также на основе стеклянных и органических волокон в настоящее время составляют реальную конкуренцию в области ракетной и авиакосмической техники конструкционным сталям и легким сплавам. Обычно свойства ПКМ сравнивают со свойствами конструкционных авиационных сплавов, в первую очередь со сталями. Приведенные в справочнике свойства высокопрочных сталей: прочность (≈ 2 ГПа) и жесткость (≈ 200 ГПа), служат как бы ориентиром для ПКМ на основе УВ, т.е. для углепластиков (УП).

В случае однонаправленных УП при обычном ($\approx 50-60$ % по объему) наполнении углеродными волокнами полимерной (обычно эпоксидной) матрицы реализуется ≈ 50 % от прочности и жесткости УВ. При этом получают прочность и жесткость УП со свойствами, приближающимися снизу к свойствам конструкционных высокопрочных сталей. Однако сами прочность и жесткость УВ в настоящее время достигли как бы своего максимума, иными словами, прочность и жесткость их не превышают соответственно значений в интервале $\approx 3-5$ и $\approx 400-800$ ГПа.

При этом высокопрочное УВ уступает по жесткости высокомодульному УВ и, наоборот, т.е. в одном типе волокон не реализуются одновременно высокие значения прочности и жесткости, присущие им порознь.

Кроме этого возникает вопрос о цене повышения качества УВ. Выясняется, что улучшение качества, например, жесткости в указанном выше интервале от высоких до сверхвысоких значений на десятки процентов, приводит к повышению цены на УВ на сотни процентов, которая в результате достигает значений сотен USD за 1 кг УВ.

Замене металлов на УП способствует:

- более высокая технологичность УП (например, возможность делать интегральные конструкции);
- высокие механические характеристики УП (на уровне высокопрочных сталей);
- меньший удельный вес (1,5 г/см³ для УП и ≈ 8 г/см³ для стали).

Однако темпы и объемы замены металлов на УП в изделиях ракетной и авиакосмической техники не только не нарастают, но даже замедляются, хотя сама стратегическая перспектива такой замены не оспаривается.

Это происходит по следующим причинам:

- УВ стоят все-таки дорого. Даже 20-30 \$/кг за наиболее ходовые УВ – это много.
- возможность реализовать технологию изготовления частей самолетов и ракет по методу “интегральных конструкций” развита недостаточно высоко.
- отношение прочности (жесткости) к удельному весу для УП хоть и превышает такое же отношение у металлов, все-таки и оно в конкретном применении не всегда и недостаточно эффективно облегчает конструкцию. Дело в том, что требование, чтобы деталь из армированного УП была в любом направлении не менее чем равнопрочна, например, стальной детали, которую заменяет деталь из УП, приводит к увеличению объема детали из УП, например, в случае листообразной формы изделия в несколько (≈ 3) раз.
- как уже упоминалось ранее, оптимальные с точки зрения соотношения цены и качества прочность и жесткость УП достигают снизу тех же значений, что и у конструкционных сталей. Однако проблемой для высококачественных ПКМ по-прежнему остаются большой разброс значений прочности и жесткости, а также низкие ($20-60 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) сравнительно с металлами ($\approx 200 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$) значения критического коэффициента интенсивности напряжений K_{1C} и низкие значения прочности межслоевого сдвига ($50-80 \text{ МПа}$).

Кроме проблем улучшения механических свойств УП, корни которых лежат в физической структуре УП и в свойствах УВ, следует отметить и то, что за последние ≈ 50 лет не происходит качественного изменения в технологических методах и средствах получения как УВ, так и самих УП. В отечественных и зарубежных монографиях, опубликованных за последние 5 лет и посвященных или основательно затрагивающих вопросы технологии получения УВ, ПКМ и УП, это, а также все, ранее упомянутое, убедительно проиллюстрировано фактами и примерами.

Достижение максимальных свойств УП и УВ, так же как и качественная неизменность технологических методов и средств их получения, показаны как в учебниках, так и в научных монографиях, причем прорыв в улучшении свойств УП и УВ предполагается за счет использования нанотрубок, нановолокон и развивающихся методов и средств нанотехнологии.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВОЙ РАЗМЕРОСТАБИЛЬНОЙ АНТЕННОЙ ПЛАТФОРМЫ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРИ ТЕМПЕРАТУРНОМ И СИЛОВОМ НАГРУЖЕНИЯХ

Л.А.Климакова, А.О. Половый, В.Н.Зельнев
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Конечно-элементное моделирование поведения конструкции в условиях эксплуатации является неотъемлемой частью процесса проектирования инженерно сложных объектов, к которым относятся конструкции из композиционных материалов. Актуальность и сложность задачи построения адекватных математических моделей, с достаточной степенью достоверности описывающих материал, конструкцию и ее деформационное поведение при воздействии внешних факторов с учетом влияния самих этих факторов на характеристики изделия, многократно возрастают при создании размеростабильных композитных конструкций. Более того, для крупногабаритных размеростабильных конструкций космического назначения, в силу невозможности проведения натурных испытаний в наземных условиях, конечно-элементное моделирование является единственным доступным способом оценки качества и прогнозирования работоспособности изделия в течение назначенного срока службы.

Углепластиковая размеростабильная антенная платформа (рис.1) космического аппарата, представляющая собой конструкцию каркасного типа с габаритными размерами $3500 \times 750 \times 200$ мм, предназначена для обеспечения точного позиционирования целевой

аппаратуры. Внешними эксплуатационными факторами, воздействующими на платформу, являются условия открытого космоса (циклически меняющиеся температурные поля, радиация, вакуум) и силовое воздействие в виде статических и динамических нагрузок при наземной эксплуатации и выводе аппарата на орбиту.



Рис. 1. Углепластиковая антенная платформа космического аппарата

Конечно-элементное моделирование деформационного поведения антенной платформы при температурном и силовом нагружении проводилось в системе NASTRAN (рис.2). Тонкостенные углепластиковые детали платформы моделировались четырёхугольными оболочечными элементами типа Plate, а торцевые металлические фланцы – объемными элементами Solid. Клеевые и механические соединения между деталями платформы образованы путем слияния общих узлов смежных конечных элементов.

В качестве геометрических параметров конструкции принимались результаты измерений при контроле изделия, термоупругие характеристики углепластиковых элементов платформы задавались на основании фактических данных, полученных при испытании образцов, имеющих конструктивное исполнение и структуру, идентичные натурному изделию. Для прогнозирования функциональных характеристик изделия в течение срока службы использовались фактические свойства конструкции, полученные на образцах, подвергшихся имитации воздействия факторов окружающей среды при наземной (ускоренные климатические испытания) и штатной (радиационное воздействие и термоциклирование в условиях вакуума) эксплуатации.

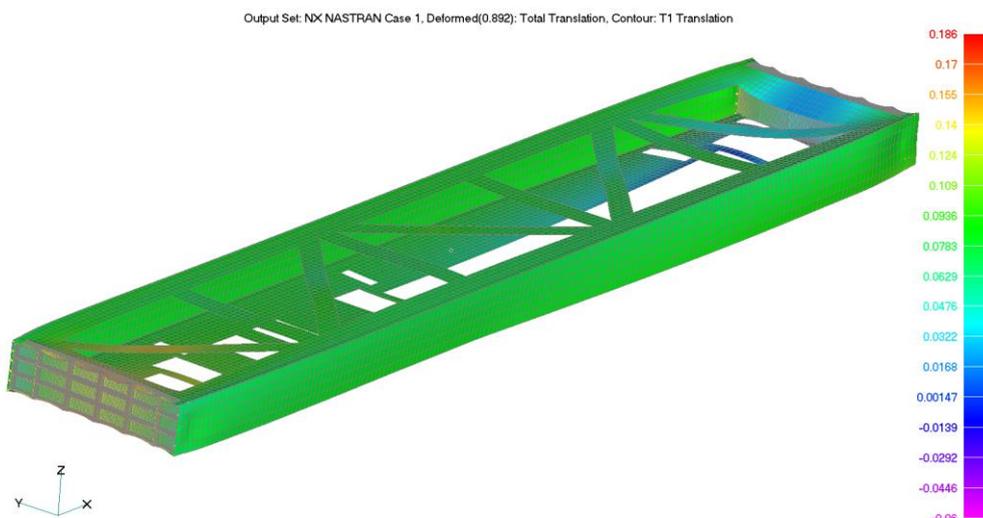


Рис. 2. Продольные перемещения платформы при температурном нагружении

С помощью конечно-элементного моделирования поведения углепластиковой антенной платформы космического аппарата при температурном и силовом нагружении в системе NASTRAN решены следующие задачи:

- выбраны варианты конструктивного исполнения и оптимизированы параметры платформы;
- определены производственные требования к физико-механическим и термоупругим свойствам применяемых композиционных материалов;
- выполнена оптимизация платформы по критерию минимизации общих термических деформаций посредством согласования термических коэффициентов линейного расширения и применения термдеформационных развязок элементов конструкции;
- исследовано напряженно-деформированное состояние и получены численные значения напряжений и деформаций в конструкции платформы при различных расчетных случаях нагружения;
- определены проектные показатели размеростабильности платформы для заданного диапазона рабочей температуры, в том числе линейные и угловые перемещения, интегральные термические коэффициенты линейного расширения;
- на основе математического моделирования поведения конструкции с использованием фактических экспериментальных свойств при внешних воздействиях получены ожидаемые показатели размеростабильности платформы в условиях штатной эксплуатации.

АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОГО, УЛЬТРАВЫСОКОМОДУЛЬНОГО УГЛЕПЛАСТИКА В ПАНЕЛЯХ СИСТЕМ ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А.К.Хмельницкий, В.В.Мазур, Г.М.Разина, О.В.Ширина (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия), *К.А.Гончаров, А.А.Тарабрин* (ФГУП “НПО им.С.А.Лавочкина”, г.Химки, МО, Россия)

В работе содержатся результаты исследования применения углепластиковых обшивок из теплопроводного ультравысокомодульного углеродного волокна для создания сотовых панелей с алюминиевыми тепловыми трубами внутри. Аналитические результаты ясно определяют конфигурацию панели, которая будет использоваться согласно различным конструктивным и тепловым требованиям. Было определено, что наиболее удовлетворяющей широкому диапазону требований оказалась конфигурация панели, состоящая из углепластиковых обшивок, алюминиевого сотового заполнителя и установленных внутри алюминиевых тепловых труб. Была разработана, изготовлена, испытана демонстрационная технологическая панель. Конструкция углепластиковой сотовой панели была изменена для демонстрации прогрессивного крепления панелей друг с другом, в части крепления к носителю и полезной нагрузке. Панель содержит такое же количество тепловых труб, аналогичных по конструкции и характеристикам, как и в панели – аналоге. В углепластиковой экспериментальной панели применена новая конструкция вставок для крепления аппаратуры, позволяющая повысить технологичность панели и снизить ее массу. Конструкция опорного узла с применением данных вставок защищена патентом. Испытания включали проверку ее теплопроводности и конструктивной работоспособности в условиях циклического изменения температур. На различных образцах были проведены испытания обшивок для определения их механических и тепловых характеристик. В отличие от предыдущих исследований удалось не только создать углепластиковые обшивки, более чем вдвое превосходящие алюминиевые по теплопроводности и весу, но и решить задачу совместимости углепластиковых обшивок с алюминиевыми тепловыми трубами и силовыми элементами внутри сотовой панели. В результате работы:

1. Найдены и успешно применены материалы для создания прогрессивной сотовой панельной конструкции, включая углеродное волокно с теплопроводностью более 500 Вт/мК;
2. Впервые в России изготовлена сотовая панель-аналог существующей металлической панели. Панель с углепластиковыми обшивками легче аналога на 20%;

3. Панель с углепластиковыми обшивками успешно прошла все квалификационные испытания, включая термоциклирование в вакууме в температурном диапазоне от минус 40 до + 80 С;

4. Панели с обшивками из ультравысокомодульных теплопроводных углеродных волокон рекомендованы для использования в качестве панелей корпуса в перспективных космических аппаратах;

5. Созданный материал углепластиковых обшивок может позволить создать сверхлегкие панели с тепловыми трубами с массой менее 2,5 кг/м².

АНАЛИЗ СОТОВЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ИЗ АЛЮМИНИЕВОЙ ФОЛЬГИ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КОНСТРУКЦИЯХ АВИАКОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.И.Сливинский, О.А.Карпикова, Г.В.Ткаченко
(ОАО “УкрНИИТМ”, г.Днепропетровск, Украина)

Сотовые заполнители (СЗ) широко применяются в конструкциях современных ракетно-космических аппаратах и самолетостроении [1, 2].

Обзор использования СЗ в авиакосмической технике показал, что самый распространенный тип заполнителя с шестигранной формой ячейки. Он технологичен, обеспечивает высокие прочностные и жесткостные характеристики. Такая конфигурация применяется как для неметаллических сотов, так и металлических из алюминиевой фольги [3].

В летательных аппаратах, работающих в различных условиях, используются СЗ из алюминиевой фольги. Основными их особенностями являются высокая прочность и жесткость по отношению к весу, высокие теплопроводность и сопротивление усталости, хорошие антивибрационные характеристики, негорючесть, сохранение свойств при повышенной температуре [3].

В СНГ клееные металлические СЗ изготавливаются из алюминиевой фольги сплавов А5Т и АМг2-Н толщиной от 20 до 50 мкм.

Ведущие зарубежные фирмы “Хексель” (США), “Plascore” (Германия), “Екогама-Хонекум” (Япония) широко используют фольгу из алюминиевых сплавов марок 5052, 5056 толщиной от 18 до 127 мкм [5].

В отличие от СЗ, выпускаемых странами СНГ, зарубежные фирмы, например, “Хексель”, производят его только с антикоррозионным покрытием, что значительно увеличивает ресурс работы сотов.

Из источников [4-6] соты зарубежных производителей имеют следующие основные физико-механические характеристики (ФМХ) (табл.1).

Таблица 1

Основные ФМХ некоторых СЗ зарубежных производителей с ячейкой 1/6 дюйма

Сплав	а, мм	δ _ф , мкм	γ, кг/м ³ , не более	Предел прочности, кгс/ см ² , не менее			Модуль упругости, при сдвиге, кгс/см ² , не менее	
				σ _{сж}	τ _{сд.}		G _{xz}	G _{yz}
					τ _{xz}	τ _{yz}		
5056*	2,75	18,0	32,0	13,4	9,8	6,0	1898	914
5056*	2,75	25,4	49,6	26,7	18,6	10,5	3164	1406
5052*	2,75	25,4	49,6	20,4	14,8	8,8	3166	1547
5056**	2,75	18,0	32,0	10,9	9,84	5,98	1898	914
5052**	2,75	25,4	49,6	18,98	14,77	9,14	3164	1547

Примечание: *соты производства фирмы “Hexcel”; **соты производства фирмы “Plascore”

$h_{сз} = 15,9$ мм (MIL-C-7438)

С целью корректного сравнения механических характеристик СЗ зарубежного и украинского производства испытания проводили на близких высотах в соответствии с ОСТ 1 01188-92 “Заполнители сотовые клееные. Методы испытаний” (табл.2).

Таблица 2

Абсолютные механические характеристики сотов из алюминиевой фольги

Сплав	а, мм	δ_f , мкм	γ , кг/м ³ , не более	h _{сз} , мм	Предел прочности, км, не менее				Модуль упру-гости, при сдвиге, км, не менее	
					$\sigma_{сж}/\gamma$	$\sigma_{раст.}/\gamma$	$\tau_{сд.}/\gamma$		G_{xz}/γ	G_{yz}/γ
							τ_{xz}/γ	τ_{yz}/γ		
Импортные соты (PAMG-XRI-2.0-3/16- .0007P-5056)										
5056	2,75	18	36,5	18	3,1	11,4	2,4	1,6	410	234
Соты производства ОАО “УкрНИИТМ”										
5056	2,5	23	36,3	20	4,1	–	2,9	1,8	440	273
			37,5		3,3	12,7	2,5	1,6	439	271
			37,9		3,8	–	2,9	1,9	368	219
			38,5		3,7	–	3,0	1,8	474	245
			39,0		3,6	13,0	2,9	1,7	472	250
			39,2		3,9	–	2,7	1,7	423	215
			40,2		3,4	11,5	2,5	1,6	366	222
	3,0	23	32,5	20	3,4	–	2,5	1,7	431	277
Импортные соты (PAMG-XRI-3.1-3/16- .001P-5052)										
5052	2,75	25,4	53,85	18	3,7	8,5	2,5	1,5	429	266
Соты производства ОАО “УкрНИИТМ”										
AMг2-Н	2,5	30	50,2	20	3,7	10,0	2,8	1,5	480	237-239
			49,3		3,7	10,0	2,7	1,6	456	247
			50,6		–	–	2,8	1,6	487	255
			51,4		4,1	9,0	2,7	1,6	442	261
			46,7	18	4,5	–	2,7	1,6	487	267

Сравнение механических показателей сотов проведено по удельным прочностным характеристикам (табл.3).

Таблица 3

Удельные механические характеристики сотов из алюминиевой фольги

Сплав	а, мм	δ_f , мкм	γ , кг/м ³ , не более	h _{сз} , мм	Предел прочности, кгс/ см ² , не менее				Модуль упругости, при сдвиге, кгс/см ² , не менее	
					$\sigma_{сж}$	$\sigma_{раст.}$	$\tau_{сд.}$		G_{xz}	G_{yz}
							τ_{xz}	τ_{yz}		
Импортные соты (PAMG-XRI-2.0-3/16- .0007P-5056)										
5056	2,75	18	36,5	18	11,48	41,64	8,82	5,74	1495	854
Соты производства ОАО «УкрНИИТМ»										
5056	2,5	23	36,3	20	14,83	–	10,4	6,73	1596	990
			37,5		12,53	47,46	9,38	6,14	1647	1015
			37,9		14,43	–	11,17	7,18	1396	829
			38,5		14,37	–	11,67	6,74	1824	943
			39,0		14,09	50,78	11,38	6,61	1842	974
			39,2		15,48	–	10,46	6,60	1660	843
			40,2		13,53	46,08	10,12	6,33	1473	892
	3,0	23	32,5	20	11,09	–	8,0	5,40	1400	901
Импортные соты (PAMG-XRI-3.1-3/16- .001P-5052)										

5052	2,75	25,4	53,85	18	20,08	45,77	13,40	8,21	2311	1432
Соты производства ОАО “УкрНИИТМ”										
АМг2-Н	2,5	30	50,2	20	18,59	50,08	13,90	7,53	2412	1190-1199
			49,3		18,46	50,42	13,13	7,68	22,48	1219
			50,6		–	–	14,15	7,99	2464	1290
			51,4		21,28	45,10	13,79	8,05	2273	1344
			46,7	18	20,93	–	12,65	7,35	2275	1246

Высота образцов зарубежных сотов 18 мм, украинских – 20 мм.

Зарубежные соты имеют преимущества, т.к. с уменьшением высоты механические характеристики возрастают.

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показал, что СЗ, выпускаемые ОАО “УкрНИИТМ” имеют удельные механические характеристики не ниже зарубежных и могут быть конкурентоспособными на мировом рынке при решении вопросов производства пакетов больших габаритов.

Литература

1. Берсудский В.Е., Крысин В.Н., Лесных С.М. Производство сотовых конструкций. – М.: Машиностроение, 1975. – 296 с.
2. Панин В.Ф., Гладков Ю.А. Конструкции с наполнителем: Справочник. – М.: Машиностроение, 1991. – 272 с.
3. Сливинский В.И. Конструктивно-технологические решения и технология производства сотов с регулируемыми механическими характеристиками и сотовых конструкций для летательных аппаратов: Дис. канд. тех. наук: 05.07.04. – Харьков, 1992. – 341 с.
4. Справочник по композиционным материалам. В 2-х кн. Кн.2/ Под ред. Дж. Любина; Пер. с англ. А.Б. Геллера и др.; – Под ред. Б.Э. Геллера. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.
5. Properties of Honeycomb Materials TSB120. – Hexcel. 1984. Revision. (USA).
6. Honeycomb Core and Engineered Products. – Plascor. 2010.Inc. All Rights Reserved.

ОКАНТОВОЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТРЕХСЛОЙНОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЗВУКОПОГЛОЩАЮЩИХ ПАНЕЛЕЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Н.В.Выморков, Н.В.Степанов (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Жесткие сроки ввода в эксплуатацию агрегатов летательных аппаратов, стремление к снижению ценовых показателей предъявляют к каждому элементу конструкции повышенные требования по технологичности. Поиск инновационных конструктивно-технологических решений, позволяющих уменьшить стоимость деталей, ускорить внедрение их в серийное производство становится чрезвычайно важным. Особенно это касается слабнонагруженных зон агрегатов, в которых при эксплуатации возникают напряжения значительно ниже предела прочности материала. Именно такой зоной в конструкции панелей шумоглушения является окантовка (рис.).

Окантовка

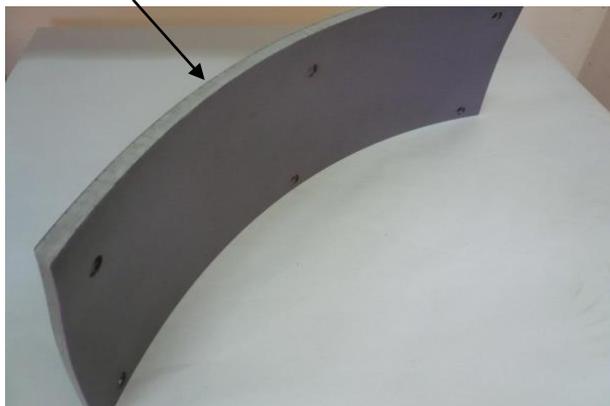


Рис. Звукопоглощающая панель

Существующие решения по окантовочным элементам в трехслойных конструкциях отличаются:

- повышенной трудоемкостью (составляет около 20-30% от общей трудоемкости изготовления панели);
- значительной массой (для трехслойных конструкций с размером ячейки 5 мм составляет 10-15% от массы изделия)
- длительным производственным циклом изготовления (достигает 15-20% от общего времени изготовления панели).

Предлагается новое конструктивно-технологическое решение трехкомпонентного окантовочного элемента, который состоит из вспенивающейся клеевой композиции, внутреннего и внешнего слоев. Геометрические параметры компонентов окантовки определяются, исходя из строительной высоты панели, размера ячейки сотового заполнителя и особенностей конструктивного исполнения кромок изделия.

Снижение трудоемкости изготовления панелей происходит за счет использования трехслойного полуфабриката, который устанавливается при сборке панели и формирует окантовку при склейке обшивок с сотовым заполнителем. Предлагаемый окантовочный элемент обеспечивает уменьшение окантовочной области, что снижает массу панелей, особенно в трехслойных конструкциях с заполнителем, размер стороны ячейки которого более 4мм.

Разработанное конструктивно-технологическое решение позволяет снизить трудоемкость изготовления панелей на 15 %, массу и длительность производственного цикла не менее чем на 10%.

ЛОПАТКА СТАТОРА АВИАДВИГАТЕЛЯ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ

Г.И.Пейчев, В.Е.Замковой, С.В.Николаевский, Е.И.Мурашкин, Е.В.Тимошенко, Е.Б.Рожнов (ГП “Ивченко-Прогресс”, г.Запорожье, Украина)

Разработана на уровне изобретений (патенты Украины и РФ) и внедрена в производство конструкция лопатки спрямляющего аппарата из угле- и стеклопластика. Рациональная схема армирования лопатки определена исходя из допустимой деформации и напряженного состояния каждого слоя при статическом и динамическом нагружении.

Перо лопатки имеет слоистую структуру из слоев углеленты и стеклоткани, пропитанных полимерным связующим. Входная кромка защищена металлической окантовкой, выходная усилена прошивкой органической нитью и накладкой из металлической сетки. Эрозионная стойкость

пера лопатки обеспечена полимерным покрытием. Полки лопатки из титанового сплава, соединение с пером клеевое.

В процессе длительной эксплуатации на двигателе входная кромка лопатки, выполненная в виде сплошной тонкой накладки с поперечными прорезами, образующими “лепестки”, может иметь повреждения, вызванные рядом причин: забоины в результате внешних воздействий и наиболее часто проявляющиеся отслоения “лепестков” от основы пера лопатки из композита. В дальнейшем под воздействием вибрации отслоение сплошной металлической накладки продолжается до отслоения одного или нескольких лепестков.

В связи со значительным количеством лопаток в двигателе Д18Т, дороговизной композиционных материалов и большой трудоемкостью изготовления лопатки насущной задачей стало продление ресурса вышедшей из строя лопатки. Предложен способ ремонта входной кромки лопатки.

Разрушенная или отслоившаяся металлическая накладка удаляется механическим путем и заменяется металлической сеткой, которая крепится на подготовленную входную кромку лопатки при помощи герметика. Форма входной кромки обеспечивается пресс-формой. Способ ремонта защищен патентами Украины и Российской Федерации.



Лопатка СА вентилятора

Авторское свидетельство СССР № 1313055, 1984 (Патент РФ № 1313055, 1993).

Лопатка турбомашин из композиционного материала.

Патент на винахід № 42883, 1999. Україна. Засіб ремонту лопатки із композиційного матеріалу із захищеною кромкою.

Патент на изобретение № 2172252, 1999 РФ. Способ ремонта лопатки из композиционного материала с защищенной кромкой.

РАЗРАБОТКА ШИРОКОПОЛОСНЫХ РАДИОПРОЗРАЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

И.Г.Атрощенко, П.А.Козедра, Д.А.Куликов, В.В.Василенко, В.Г.Кулиш, П.А.Степанов (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Целью работы являлось создание (радиотехническое исследование, конструирование и технологическая разработка) комплекта широкополосных радиопрозрачных изделий. Процесс проектирования и конструирования изделий представляет собой сложный многокритериальный и многопараметрический итерационный процесс. Основным требованием к изделиям является обеспечение заданных радиотехнических характеристик радиопрозрачной зоны, удовлетворяющих требованиям технического задания.

Особенностью данной работы является выполнение требований функционирования изделий в широком диапазоне длин волн и различной поляризации излучающих устройств, а также обеспечение работоспособности в реальных эксплуатационных условиях.

На первом этапе были проведены радиотехнические расчеты, в результате которых были сформулированы требования к конструкции и параметрам радиопрозрачной зоны изделий.

Комплект состоит из 6 изделий. Одно из них допускало монолитную однослойную конструкцию стенки из-за относительно меньшей широкополосности по сравнению с остальными. Для остальных 5 изделий требования по широкополосности радиотехнических характеристик приводило к непригодности однослойной конструкции стенки.

Было проведено исследование трехслойных конструкций. Оно показало возможность создания конструкции стенок для остальных изделий, радиотехнические характеристики которых удовлетворяли бы требованиям технического задания.

Основной трудностью создания трехслойных конструкций было удовлетворение противоречивых требований. С одной стороны толщина стенок изделий была жестко ограничена, с другой стороны требовалась значительная широкополосность по радиотехническим параметрам при больших углах падения электромагнитной волны на стенку изделий.

В результате проведенных расчетных и экспериментальных исследований указанные трудности были преодолены. Анализ условий эксплуатации и комбинированного воздействия тепловых и силовых нагрузок, которые испытывают изделия в процессе их хранения и эксплуатации по заданным в техническом задании требованиям, позволяет применить в качестве конструкционных материалов стеклопластиковые материалы с сотовым наполнителем (при конкретном анализе диапазона рабочих частот). На основе требований технического задания и радиотехнических расчетов был проведен анализ свойств нескольких видов препрега на основе различных связующих. Для выбора наполнителя для радиопрозрачной зоны был проведен анализ различных стеклосотопластов. По комплексу свойств (радиотехнических и прочностных) в качестве материала для изготовления изделий наиболее целесообразно использование материала КМКС-4к.175.ТС8/3К.37(55), а в качестве наполнителей стеклосотопласт СП-1-4,2. Определение конструктивных параметров изделий в радиопрозрачной зоне основывалось на радиотехническом расчете с учетом свойств выбранных материалов изделий и ограничениях на максимальную толщину, установленных в техническом задании.

В результате разработана технология получения трехслойной конструкции стенки, у которой толщина внешних слоев десятые доли миллиметра при относительной диэлектрической проницаемости материала 3,4 (стеклопластик). Внутренний слой представляет собой сотовую конструкцию с относительной диэлектрической проницаемостью 1,15.

Совмещение двух частей – радиопрозрачной зоны и силового пояса – достигалось изменением внутренней поверхности изделий при сохранении их внешних обводов (рабочей поверхности) гладкими (рис.)



Следующим этапом была разработка технологического процесса изготовления комплекта изделий методом вакуумного формования. Первоочередной задачей стал выбор оптимального режима вакуумного формования (температура, вакуум, длительность выдержки), поскольку материал КМКС-4к.175.ТС8/3К.37(55) является новым материалом. В ходе работы был подобран оптимальный режим вакуумного формования.

По прочностным характеристикам: условному пределу прочности при четырехточечном изгибе образцов трехслойной конструкции и изгибающему напряжению для монослойной конструкции, изготовленные изделия соответствуют требованиям технического задания.

Радиотехнические характеристики радиопрозрачной зоны изготовленных изделий соответствуют требованиям технического задания (коэффициент прохождения радиоволны для изделий с трехслойной конструкцией радиопрозрачной зоны равен 84%, для изделий с монослойной конструкцией радиопрозрачной зоны равен 99%).

Уникальность разработки заключается в оригинальном конструктивно-технологическом решении, состоящем в оптимизации конструкции комплекта изделий и удовлетворяющих требованиям технического задания, и технологическом обеспечении их изготовления.

КРУПНОГАБАРИТНЫЕ РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Е.Р.Лепикаш, Н.С.Обухова, Г.С.Шуль, А.А.Баранов, Л.М.Шкиркова, А.В.Родионов (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Дальнейшее развитие радиолокационной техники связано, в частности, с увеличением размеров антенных систем, установленных на мобильных носителях, что определяет необходимость создания крупногабаритных радиопрозрачных укрытий (РПУ) из полимерных композиционных материалов (ПКМ).

Нашим предприятием в течение 20 лет накоплен большой опыт по разработке технологии и изготовлению бескаркасных РПУ из стеклопластиков коробчатой, сферической и другой формы с различной конструкцией радиопрозрачной стенки и габаритами от 0,5 до 8,5 м.

Проведение комплексных исследований по оценке влияния различных климатических факторов (повышенных температур и влажности, отрицательных температур, перепада температур от -20 до +20°C, от -40 до +50°C, а также воздействия УФ-излучения и соляного тумана) на свойства стеклопластиков показали высокий уровень сохраняемости физико-механических и диэлектрических свойств изученных материалов. Прогнозируемые сроки работы РПУ в указанных условиях составили не менее 11 лет.

Полученные экспериментальные данные подтверждены опытом эксплуатации разработанных РПУ с монолитной и трехслойной конструкцией радиопрозрачной стенки в составе изделий “Гамма-С1”, “Панцирь-С1” и др.

Увеличение размеров РПУ, к которым предъявляются повышенные требования по точности размеров и геометрии, определяет необходимость согласования термомодеформационных свойств материалов по всей технологической цепочке: мастер-модель, композитная оснастка и РПУ из стеклопластика.

В работе представлены результаты исследования термомодеформационных характеристик отечественных материалов, которые, благодаря высокому уровню физико-механических свойств и хорошей обрабатываемости, могут быть использованы для изготовления мастер-моделей и композитной оснастки. Это синтактные пены или сферопластики, представляющие собой композиции на основе эпоксидных смол и полых стеклянных или полимерных микросфер, изготовленные ЗАО “Аквасинт”, г. Владимир.

Дилатометрические исследования, однако, показали, что исследуемые материалы имеют гораздо более значительную термическую деформацию по сравнению со стеклопластиком, из которого изготавливается РПУ (рис.).

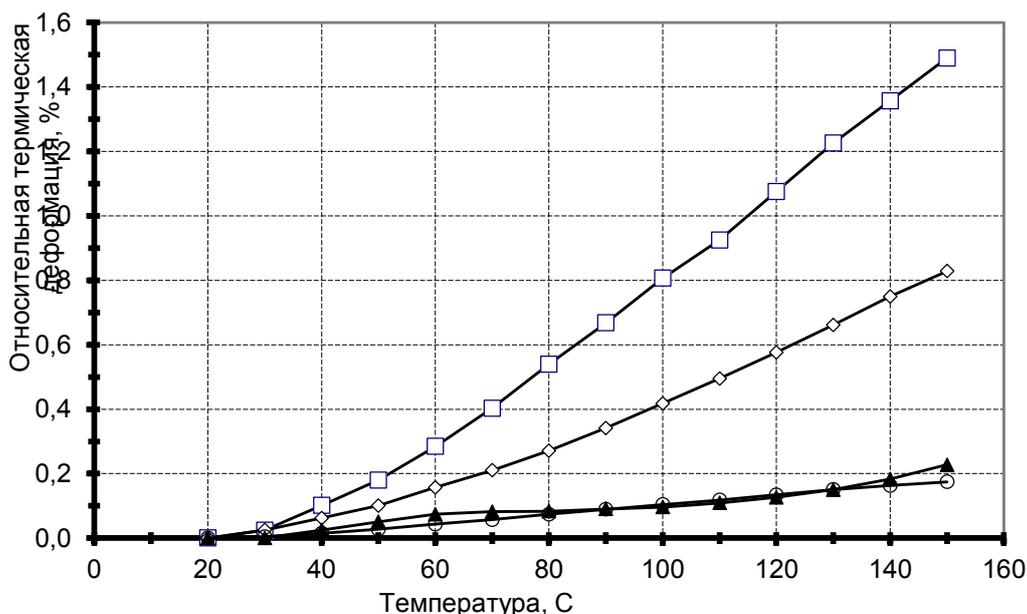


Рис.

Относительная термическая деформация исследованных материалов для композитной оснастки:
 -□- – сферопластик Владисинт; -◇- – сферопластик ЭДС;
 -▲- – сферопластик Владисинт, армированный 2 слоями Т-10; -○- – стеклопластик на основе Т-10/ЭНФБ

Проведенные расчеты показывают, что при таких отличиях в значениях коэффициентов линейного термического расширения в изделиях, особенно замкнутой формы при охлаждении, могут возникать остаточные напряжения, соизмеримые с уровнем сдвиговых характеристик стеклопластика. В то же время введение в сферопластики дополнительных слоев стеклоткани существенно снижает уровень термической деформации, приближая ее к значениям термической деформации стеклопластика для РПУ.

С учетом проведенных термодеформационных исследований и расчетов были изготовлены: крупногабаритная стеклопластиковая оснастка коробчатого типа размером 4,8 x 2,6 x 0,2 м, а также оснастка для балки П-образного сечения из сферопластика ЭДС размером 4,8 x 0,18 x 0,10 м, на которых сформованы изделия с заданными размерами и переданы Заказчику (ОАО “ВНИИРТ”) для проведения испытаний в составе радиолокационного комплекса.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК С МНОГОСТЕНОЧНЫМ ПУЛТРУЗИОННЫМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ

А.В.Суханов, С.С.Мараховский (ООО “Компания “Армопроект”, г.Москва, Россия)

Изначально появившись в аэрокосмической промышленности, трехслойные цилиндрические оболочки из композиционных материалов постепенно осваивают новые области применения. От транспортно-пусковых контейнеров и соединительных отсеков ракет, фюзеляжей самолетов до обделок подземных коллекторов, водопропускных труб дорожных насыпей, опор и колонн строительных сооружений.

Специфика требований к вновь разрабатываемому изделию рождает новые конструктивно-технологические решения. Так, в дополнение к известным схемам цилиндрических многослойных оболочек (трехслойные с легким наполнителем и сетчатые) появилась схема с многостеночным пултрузионным наполнителем.

Конструктивно такие оболочки (рис. 1) представляют собой две намотанные цилиндрические обшивки, между которыми размещен слой ориентированных вдоль оси оболочки пултрузионных профилей специальной конфигурации и структуры, соединенных

между собой в кольцо. В зависимости от условий работы оболочки выбираются материалы, форма сечения профилей, схема армирования стенок профилей, а также материалы, толщины и схемы армирования обшивок.

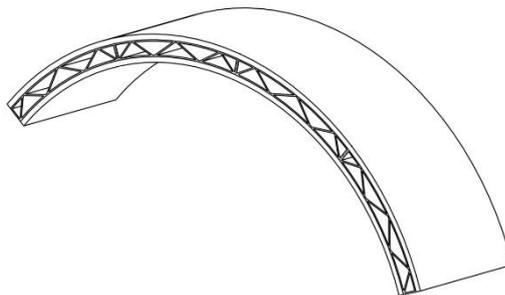


Рис. 1. Схема оболочки с многостеночным пултрузионным наполнителем

Расчетными обоснованиями и экспериментальными исследованиями было показано, что трехслойные оболочки с многостеночным пултрузионным наполнителем демонстрируют высокую эффективность при восприятии сжимающих продольных усилий и внешнего давления по сравнению с трехслойными оболочками с пенополиуретановым и сотовым наполнителями, однослойными оболочками, оболочками с сетчатой структурой.

Основными преимуществами таких оболочек являются:

- относительно низкая трудоемкость и стоимость изготовления конструкции за счет отдельного изготовления профиля-наполнителя и конструкции в целом;
- высокая производительность технологии изготовления профиля, обеспечивающая минимально возможную стоимость при высоком уровне и стабильности характеристик материала;
- возможность оптимизации конструкции, работающей при различных сочетаниях нагрузок в различных условиях, за счет оптимального выбора применяемых материалов, схем армирования и конфигурации сечения профиля-наполнителя.

Профиль-наполнитель изготавливается методом пултрузии. Метод характеризуется высокой производительностью и стабильностью характеристик и позволяет получать элементы самого разнообразного поперечного сечения и типа армирования.

Трехслойные оболочки изготавливаются методом намотки, при этом технологический процесс разделен на несколько этапов: намотка внутренней обшивки, установка среднего слоя из профиля-наполнителя, намотка внутренних шпангоутов, намотка внешней обшивки. При изготовлении экспериментальных оболочек (рис. 2) осуществлялась намотка ровингом на длинномерную металлическую оправку, причем на одной оправке одновременно изготавливалось несколько оболочек.



Рис. 2. Экспериментальная оболочка в разрезе

Из всех технологических процессов получения композиционных материалов наименьшей стоимостью килограмма продукции обладает пултрузия, а одной из самых высоких – намотка, при этом в обоих техпроцессах итоговый композит обладает высокими механическими характеристиками. Комбинация этих двух процессов, использованная в производстве оболочек с многостеночным пултрузионным наполнителем, когда по наименее затратной технологии (т.е. пултрузии) изготавливается основная по массе часть конструкции, позволяет получать изделия с характеристиками, высокими не только в массово-прочностном отношении, но и в технико-экономическом.

В процессе экспериментальных исследований и отработки технологии изготовления оболочек были определены оптимальные режимы намотки внешней обшивки и термообработки оболочки в целом с учетом специфики среднего слоя из профиля-заполнителя. Также было разработано специальное связующее, с которым материал профиля демонстрировал повышенную термостойкость при термообработке оболочки в сборе с сохранением геометрии и физико-механических характеристик. Таким образом, в ходе изготовления экспериментальных оболочек были решены технологические проблемы и определены параметры техпроцесса, что открыло конструктивно-технологической концепции оболочки с многостеночным пултрузионным наполнителем путь в серийное производство.

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СЕБЕСТОИМОСТИ ТИПОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПУЛТРУЗИОННЫХ ПРОФИЛЕЙ ПАНДУСНОГО СХОДА ДЛЯ ИНВАЛИДОВ

А.А.Сафонов, С.Н.Озеров (ООО “НТИЦ АпАТЭК-Дубна”, г.Дубна, МО, Россия)

Основной целью применения автоматизированных методик при проектировании типовых конструкций заключается в сокращении времени на каждом этапе проектирования за счет использования программных средств, которые позволяют реализовать следующие преимущества:

- параметризация конструкций;
- уменьшение количества ошибок;
- дифференциация сотрудников по уровню выполняемых задач, что снижает затраты на обучение и контроль;
- значительное уменьшение времени на выпуск конструкторской документации.

На первом этапе работы была разработана 3D модель пандусного схода для инвалидов (рис. 1), выбрана методика и алгоритм параметризации.



Рис. 1. 3D модель пандусного схода для инвалидов

На втором этапе работы производилась параметризация с помощью языка программирования *Visual Basic* и взаимосвязей внутри 3D модели. В ходе параметризации была построена автоматизированная модель, пригодная для построения детализированных чертежей. На третьем этапе был создан интерфейс ввода данных входных параметров (рис. 2). Модуль

изделий, при котором материал формируется путем пропитки армирующего наполнителя смолой за счет вакуумирования. Пултрузия – высокопроизводительный технологический процесс непрерывного изготовления композитных профилей постоянного сечения на основе волокнистого наполнителя и полимерного связующего, включающий в себя пропитку наполнителя связующим, полимеризацию в фильере и нарезку на мерные отрезки полученного профиля. Суть пултрузионного процесса заключается в том, что непрерывный армирующий наполнитель (стеклоровинг и лента) протягивается тянущим устройством через пропиточный узел с термореактивным связующим, затем поступает в обогреваемую фильеру, определяющую геометрию поперечного сечения изделия, в которой осуществляется полимеризация связующего.

Распределение температурного поля внутри детали моделировалось уравнением теплопроводности. Характеристики композита рассчитывались на основании свойств компонент. Для учета изменения степени полимеризации использовались кинетические соотношения. Поставленная задача была решена численно с использованием метода конечных элементов (МКЭ) с применением итерационных методов. Эта методика была реализована в виде подпрограмм для универсальных расчетных программ.

Для прогноза деформирования изделия во время его изготовления было проведено моделирование НДС с учетом того, что связующее последовательно проходит через следующие состояния: вязкотекучее состояние, разогрев, отверждение, охлаждение, переход в стеклообразное состояние. При описании поведения материала использовалась модель термовязкоупругости для анизотропной среды.

Принципиально важным являлся вопрос о возможности упрощения термовязкоупругой модели, ибо этим по существу определяется возможность проведения массовых численных и экспериментальных работ при обосновании параметров технологических процессов. Поэтому был разработан программный комплекс на основе модели, в которой не учитывается зависимость от скорости изменения деформации. Общая модель термовязкоупругости использовалась как отправная точка для создания упрощенной модели. Полученная модель сохранила наиболее значимые эффекты полимеризационного процесса. Данная модель хорошо подошла для записи в приращениях и численной реализации в конечно-элементном пакете.

Течение смолы через армирующий наполнитель моделировалось законом Дарси. Параметры проницаемости определялись на основе характеристик армирующего наполнителя и проверялись экспериментально. Был разработан численный алгоритм по моделированию распространения фронта пропитки в фильере на основе комбинации метода конечных элементов и метода контрольных объемов. На основе численного алгоритма была разработана программа, которая применяется для оптимизации схемы расположения источником впуска связующего.

Методика моделирования была применена при оптимизации следующих технологических процессов: пултрузия крупногабаритных стержней и швеллеров для мостовых конструкций; вакуумная инфузия волноотбойной стены и пешеходного моста.

НОВОЕ ВЫСОКОПРОЧНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ РАСПЛАВНОГО ТИПА ДЛЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ 120°С

*М.А.Ким, Г.А.Ямщикова, Н.Н.Панина, Я.М.Гуревич, Л.В.Чурсова, А.Н. Бабин,
Д.И.Коган, Е.А.Вешкин (ФГУП “ВИАМ”, г.Москва, Россия)*

Создание современных ПКМ невозможно без разработки новых связующих, поскольку требуемый уровень эксплуатационных характеристик ПКМ уже не может быть достигнут при использовании разработанных ранее эпоксидных связующих. Разрабатываемые связующие должны обеспечивать не только повышенную технологичность препрегов, но и формировать в процессе отверждения высокопрочную теплостойкую полимерную матрицу, обеспечивающую максимальную реализацию в ПКМ прочности армирующих волокон.

В настоящее время передовые иностранные производители в основном используют расплавную технологию изготовления композиционных материалов. Преимущества такой технологии по сравнению с растворной: экономия растворителей, снижение энергоемкости изготовления препрегов, уменьшение числа технологических операций, отсутствие загрязнения окружающей среды токсичными растворителями. Кроме того, применение расплавного связующего позволяет улучшить качество изделий из композиционных материалов вследствие уменьшения пористости, возникающей при удалении растворителя.

Для разработки нового высокопрочного связующего расплавного типа были исследованы составы, содержащие полифункциональную эпоксидную смолу и дифункциональный эпоксидный олигомер. В качестве отвердителей использовались различные ароматические амины. Был выбран оптимальный состав связующего, исходя из прочностных показателей, теплостойкости отвержденного полимера и технологических свойств связующего (жизнеспособность, вязкость расплава).

Выбраны оптимальные параметры получения связующего (температура, время, наличие поверхностно-активных веществ), позволяющие получить требуемые реологические характеристики связующего и повысить его жизнеспособность до 21 дня.

По результатам испытаний физико-механических свойств отвержденных по различным температурно-временным режимам связующих, был выбран оптимальный режим отверждения (начало отверждения – 80°C, конец – 170°C).

Введение в состав связующего термопласта позволило увеличить ударную вязкость полученного полимера в 2 раза без снижения температуры стеклования отвержденной матрицы.

Изготовлены опытные партии нового связующего и исследованы их технологические свойства. Связующее представляет собой высоковязкую массу от светло-желтого до светло-коричневого цвета без механических включений, с кажущейся вязкостью по Брукфильду при 70°C не более 10 Па·с и временем гелеобразования при 145°C 35-60 мин.

Свойства разработанного эпоксидного связующего в сравнении с импортными аналогами представлены в табл. 1.

На основе связующего были изготовлены препреги и проведена оценка влияния наполнителей (стеклоткань Т10-14, углеродная ткань фирмы “Porcher” арт. 4510) на режим отверждения эпоксидного связующего. Установлено, что введение наполнителей не оказывает влияния на режим отверждения. На основе полученных препрегов были отработаны режимы изготовления угле- и стеклопластиков и исследованы их физико-механические свойства.

Таблица 1

Свойства разработанного эпоксидного связующего в сравнении с импортными аналогами

Характеристики	Разработанное связующее	HexPly M36	Sycor 934
Температура стеклования, °C	170	211	194
Прочность при растяжении, МПа	95	81	83
Модуль упругости при растяжении, ГПа	3,8	3,5	4,1
Относительное удлинение при растяжении, %	3,0	–	0,7
Жизнеспособность связующего при комнатной температуре, сут.	21	14	10

Полученные значения прочностных характеристик при статическом изгибе – 921 МПа (наполнитель стеклоткань Т10-14) и 2265 МПа (наполнитель углеродная ткань фирмы “Porcher” арт. 4510), межслоевом сдвиге (жгут УКН) – 90 МПа свидетельствуют о высокой степени реализации свойств наполнителя в составе пластиков. Для оценки работоспособности ПКМ при повышенных температурах были исследованы механические характеристики экспериментальных образцов угле- и стеклопластиков при температурах 80°C и 120°C. Сохранение свойств составляет 80-83% при температуре 80°C и не менее 70% при температуре 120°C, что позволяет рекомендовать эти материалы на рабочие температуры до 120°C.

В табл. 2 приведены свойства пластиков, на характеристики которых определяющую роль оказывают свойства связующего.

Таблица 2

Свойства пластиков на углеродном наполнителе УОЛ-300

Марка связующего	$\sigma_{сж}$, МПа	$\tau_{сдвига}$, МПа	$\sigma_{сж}$ после удара -4 Дж/мм, МПа
ЭНФБ-2М	850	65	–
ЭДТ-69Н	800	41	–
ВС2526К	1200	60	223
Разработанное связующее	1390	90	261

Высокие механо-прочностные показатели эпоксидных полимерных матриц, а также возможность переработки их с помощью современных энергосберегающих и экологически безопасных технологий позволяет расширить область применения ПКМ и внедрить их в составе средне- и сильнонагруженных деталей БСМС.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И НАЗНАЧЕНИЕ ПКМ НА ОСНОВЕ КЛЕЕВЫХ ПРЕПРЕГОВ

Л.А.Дементьева, Н.Ф.Лукина, А.А.Сереженков, К.Е.Куцевич
(ФГУП “ВИАМ”, г.Москва, Россия)

Результаты многолетних исследований свойств полимерных клеящих систем, проведенных в ВИАМ, явились основой для разработки высокопрочных пленочных клеев конструкционного назначения, которые по своим свойствам находятся на уровне лучших мировых аналогов и отвечают высоким требованиям, предъявляемым к материалам авиационного назначения.

Впервые в отечественной практике составы высокопрочных клеев были использованы в качестве основы клеевых связующих с регулируемыми характеристиками (вязкоупругими, прочностными, деформационными и температурными). На их основе разработаны долгоживущие клеевые препреги, в качестве наполнителей которых используются различные углеродные ленты, жгуты (материалы марки КМКУ) и стеклонаполнители (материалы марки КМКС). Отличительной особенностью клеевых препрегов является возможность осуществления высокоэффективной технологии сборки клееных высоконагруженных конструкций из неметаллических материалов одинарной и сложной кривизны, в том числе сотовых, когда формирование обшивки и приклеивание ее к сотовому заполнителю происходит за одну технологическую операцию. Эта уникальная особенность клеевых препрегов также позволяет изготовить детали из ПКМ сложной формы, в конструкции которых сочетаются интегральные и сотовые элементы, формирование которых происходит одновременно, в едином технологическом цикле.

Применение композиционных материалов на основе клеевых препрегов позволяет сократить цикл изготовления конструкций в 2–3 раза, а трудоемкость изготовления сотовых конструкций на 40–50% по сравнению с обычными клееными панелями. При этом число технологических операций уменьшается в 3 раза, количество оснастки – в 1,5–2 раза и вес конструкции (особенно с сотовым наполнителем) на 30–50%. Количество выбросов вредных веществ в атмосферу уменьшается в 10–15 раз за счет использования безрастворной технологии изготовления клеевых препрегов и изделий из них. Также КМК позволяют повысить герметичность конструкций из ПКМ в 10 раз, трещиностойкость на 40–50%, прочность при межслоевом сдвиге на 20–35%.

Первым этапом работ в этом направлении явилась разработка композиционных материалов клеевых с рабочей температурой 80 °С (марки КМКС-1.80 и КМКУ-1.80). Путем направленной модификации состава клеевой матрицы достигнуто повышение теплостойкости клеевых препрегов до 120°С (марки КМКС-2.120, КМКС-2м.120 и КМКУ-2м.120), 150°С (марка КМКУ-

3.150) и 175°C (марки КМКС-4.175 и КМКС-4м.175). Использование в составе клеевых препрегов большого ассортимента стекло- и угленаполнителей, в том числе импортных производства фирмы “Porsher” (Франция), позволило варьировать свойства КМК в широких пределах.

В табл. представлены свойства некоторых композиционных материалов клеевых на основе различных наполнителей.

Таблица

Некоторые свойства композиционных материалов клеевых на основе различных наполнителей

Свойства КМК	Угленаполнители		Стеклонаполнители
	Лента ЭЛУР-П марка КП	Ткань фирмы “Porsher” арт. 4510	Ткани Т-10, Т-15, Т-60(ВМП), Т64(ВМП), ТС-8/3-К-ТО
$\sigma_{в}$, МПа	900	1800	385 - 1500
$\sigma_{-в}$, МПа	1025	1000	450-900
$E_{в}$, ГПа	120	125	19 - 42

Композиционные материалы клеевые сегодня применяются практически во всех конструкциях современных изделий военной и гражданской авиационной и ракетно-космической техники, они внедрены для изготовления деталей и агрегатов из ПКМ в конструкции новых изделий авиационной техники, в т.ч. истребителя пятого поколения Т-50 и самолета Super Jet-100. Эти материалы внесены в конструкторскую документацию ближнесреднемагистрального самолета МС-21.

В ФГУП “ВИАМ” организовано опытно-промышленное производство клеевых препрегов на основе углеродной ленты ЭЛУР-П марки КП: КМКУ-2м.120.Э0,1, который используется в конструкции изделия Super-Jet-100 и КМКУ-3.150.Э0,1, который поставляется по заявкам предприятий – участников кооперации по изделию Т-50.

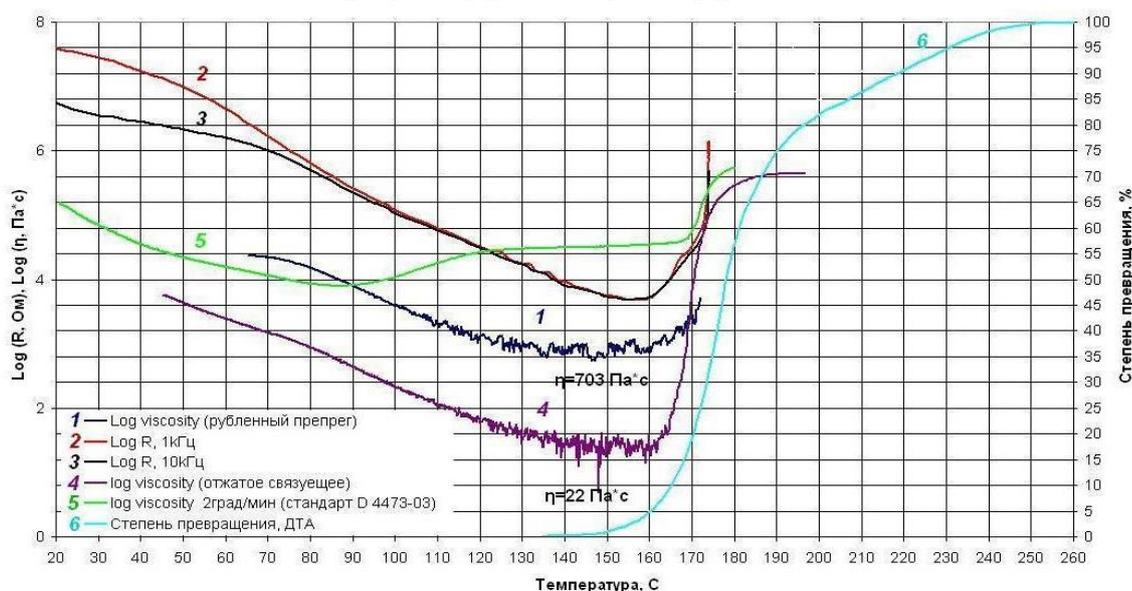
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕПРЕГА КМКС ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИМ, РЕОМЕТРИЧЕСКИМ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА МЕТОДАМИ

А.П.Богданов, А.С.Маслов, П.П.Чегодаев
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

При формовании изделий из композиционных материалов в цеховых и лабораторных условиях важно знать основные технологические характеристики отверждаемого материала в режиме реального времени. К таким характеристикам относятся, в первую очередь, вязкость и степень отверждения. Для измерения вязкости и степени отверждения в лабораторных условиях существует хорошо развитая приборная и методическая база. Но прямое измерение этих характеристик в цеховых условиях при автоклавном и других видах формования невозможно. Поэтому применяют измерение физических величин, поддающихся дистанционному измерению в автоклаве и аналитически связанных с вязкостью и степенью отверждения. Как правило, это диэлектрические характеристики, что обусловлено развитой приборной базой их измерения и относительной простотой организации эксперимента.

В настоящей работе проведено комплексное исследование препрега КМКС 4м.175.Т64.55 диэлькометрическим, реометрическим и ДТА методами при отверждении его по одинаковым для всех используемых методов температурно-временным режимам. Диэлькометрия выполнена на установке “Пресс”, позволяющей дистанционно с заданным временным интервалом записывать и накапливать информацию о тангенсе угла диэлектрических потерь (tgδ),

сопротивлении (R) и емкости (C). Реометрические измерения выполнены на реометре американского производства ARES-G2: на твердых образцах по международному стандарту D 4473-03, на связующем, отжатом из препрега при температуре 65°C , и на препреге, измельченном до размеров не более $0,3$ мм. Во всех случаях использовались геометрии плоскость–плоскость. Степень отверждения определяли обработкой данных, полученных на приборе ДТА-500. Для всех методов использовался нагрев до максимальной температуры отверждения со скоростью 1, 2, 3 и 4 градуса в минуту, что позволило сопоставлять данные всех методов, результаты для 2 град. в минуту представлены на рисунке.



Значения сопротивления для частоты 1 и 10 кГц (кривые 2 и 3) практически совпадают в довольно широком диапазоне температур ($90\text{--}165^{\circ}\text{C}$). Следовательно, измеряемое сопротивление является величиной, пропорциональной ионной вязкости. Проводимость в этой области является ионной, а вязкость подчиняется закону Стокса. Значение сопротивления имеет только один минимум около 158°C . Для этой температуры, как следует из кривой степени превращения, полученной методом ДТА (кривая 6), соответствует степень превращения около 4%. Дальнейшее повышение температуры приводит к резкому возрастанию ионной вязкости, и степени превращения. Сопоставление кривых ионной вязкости и степени превращения дает возможность по дистанционно измеряемой ионной вязкости (сопротивлению) выбирать момент приложения давления при заданной степени превращения. Существенно, что кривые изменения ионной вязкости и степени отверждения можно с высокой точностью аппроксимировать, например, многочленом высокой степени. Вводя эти функции в управляющую процессом отверждения программу, по диэлектрическим характеристикам можно управлять степенью отверждения КМ.

Для выбора момента приложения давления важна и вязкость, так как она определяет содержание связующего, оставшегося в композиционном материале, его пористость и другие важные показатели. Существует международный стандарт D 4473-03 для изучения реологических характеристик препрегов при отверждении. Комплексная динамическая вязкость при измерении по этому стандарту на реометре ARES-G2 приведена на этом же рис. (кривая 5). Обращает внимание существенное отличие реологической вязкости от ионной вязкости по результатам диэлектрических измерений. Прежде всего, в области 90°C присутствует минимум вязкости, который отсутствует в ионной вязкости. Далее происходит плавное увеличение вязкости вплоть до температуры 168°C , после чего вязкость резко возрастает. Этой температуре соответствует степень отверждения 15%. Реометрическая вязкость по стандарту D 4473-03 и

ионная вязкость существенно разнятся как по характеру температурной зависимости, так и по положению экстремальных точек и, по-видимому, имеют различную физическую природу.

Гораздо лучше соответствуют природе ионной вязкости реометрическая вязкость для препрега, рубленого до размера не более 0,3 мм (кривая 1), и связующего, отжатого из препрега (кривая 4), минимумы вязкости (по температуре) на них практически совпадают с вязкостью ионной. Значения вязкости в минимуме для рубленого препрега составляет 703 Па·с, а для связующего – 22 Па·с. Наиболее полно кривой ионной вязкости соответствует кривая вязкости отжатого связующего, их можно совместить параллельным сдвигом. Это отражает и сущность физических процессов при формовании ПКМ – течение связующего между волокнами наполнителя. Что касается данных, полученных при испытаниях по стандарту D 4473-03, то они отражают в значительной мере роль металлической подложки, передающей деформацию препрегу. Следовательно, для управления технологическим процессом формования нужно использовать данные по вязкости для отжатого связующего.

Таким образом, получены данные, связывающие дистанционно измеряемое сопротивление препрега с вязкостью и степенью отверждения. Введение этой информации в программу позволяет контролировать и управлять формованием по нужной технологической характеристике.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА СВЯЗУЮЩИХ ДЛЯ ПКМ

О.В.Томчани, Н.С.Обухова, Е.И.Миронова, Л.В.Юдина, Н.С.Найденова, Г.С.Шуль (ФГУП «ОНПП «Технология», г.Обнинск, Россия)

На сегодняшний день в нормативной документации Российской Федерации отсутствуют документы, регламентирующие порядок контроля процессов изготовления полуфабрикатов, материалов и конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Для обеспечения контроля качества технологических процессов изготовления ПКМ и изделий на их основе, разработки новых композитов, эффективного участия предприятий российской авиационной промышленности в международной технологической интеграции требуется изучение зарубежного опыта и внесение изменений в действующую техническую документацию на выпускаемые и востребованные в настоящее время материалы.

Анализ зарубежных источников [1-4] в части перечня требований к связующим, вносимых в техническую документацию, показывает, что он в различных документах отличается. Однако нужно отметить, что во всех зарубежных нормативных документах при контроле технологических и эксплуатационных показателей связующих проводится анализ собственно связующих, а не материалов на их основе.

В то же время в ТУ 1-596-36-2005 на связующее ЭНФБ браковочным показателем качества связующего является предел прочности при сжатии углепластика на его основе при температуре 150°C. Таким образом, чтобы удостовериться в качестве связующего ЭНФБ в настоящее время необходимо изготовить препрег на его основе, сформовать углепластик, изготовить его образцы и провести механические испытания. Основными недостатками такого метода контроля связующего являются его высокая стоимость, длительность, большая трудоемкость и зависимость от множества объективных и субъективных факторов. В настоящей работе был проведен анализ возможности применения термических методов анализа при оценке связующего ЭНФБ с целью замены прочностных испытаний углепластика при повышенной температуре на определение показателей, характеризующих свойства чистого связующего.

Анализ 122 партий связующего ЭНФБ с использованием методов определения суммарного количества эпоксидных групп, дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термомеханического анализа (ТМА) позволил выбрать предельные значения соответствующих показателей чистого связующего (содержание эпоксидных групп, тепловой эффект реакции

отверждения, теплостойкость), которые позволяют получать углепластик на основе ЭНФБ, соответствующий требованиям ТУ 1-596-36-2005 по показателю “предел прочности при сжатии, при температуре 150°С” (не менее 47 кг/мм²): суммарное содержание эпоксидных групп (расчетное) – не менее 9,5 %; теплостойкость – не менее 160°С; тепловой эффект реакции отверждения – не менее 320 Дж/г. Предложенные методы оценки качества связующего аналогичны методам испытаний связующих, применяемых в изделиях авиационной техники за рубежом, и соответствуют требованиям международных руководств и стандартов, а также методам испытаний, предусмотренным ВИАМ в ТУ 1-595-12-542-98 на связующее УП-2227.

Литература

1. MIL-HDBK-17-1F. Composite Materials Handbook. Volume 1 – Polymer Matrix Composites. Guidelines for Characterization of Structural Materials. Department of Defense. 17 JUNE 2002
2. MIL-STD-1944. U.S. Department of Defense. 1985.
3. Справочник по композиционным материалам / Под ред. Дж.Любина.– Москва, Машиностроение, 1988.
4. DOT/FAA/AR-02/109. Guidelines and Recommended Criteria for the Development of a Material Specification for Carbon Fiber/Epoxy Unidirectional Prepregs. U.S. Department of Transportation. Federal Aviation Administration. March 2003.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАСПЛАВНОГО ЭПОКСИБИСМАЛЕИМИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО И КОМПОЗИТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ

О.В.Томчани, С.В.Ворвуль, А.В.Хабенко, А.М.Котухова, В.Н. Мосиук, А.Г.Попов, Г.С. Шуль (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В качестве связующих для изготовления высокоэффективных композиционных материалов, армированных волокнами, в основном используют термореактивные смолы. Общеизвестно, что наиболее распространенными среди них являются эпоксиды. Однако их применение ограничивается недостаточно высокой теплостойкостью. Для получения композиционных материалов с температурой эксплуатации до 200°С в ФГУП “ОНПП “Технология” разработано новое расплавное эпоксибисмалеимидное связующее ТЭИС-33М, технологии получения препрегов и углепластиков на его основе и проведены комплексные исследования их свойств.

Определение теплостойкости разработанного связующего и углепластиков проводили методами термомеханического (ТМА), электрофизического и динамического механического анализа (ДМА). Температура стеклования чистой матрицы, определенная по началу снижения динамического модуля упругости, составляет не менее 215°С.

Для выбора и контроля режимов изготовления и отверждения препрега на основе разработанного связующего были исследованы его реологические и кинетические параметры. Для достижения вязкости менее 3 Па·с температура связующего ТЭИС-33М должна быть не ниже 90°С. При этом вязкость при температурах 90, 100°С сохраняется в диапазоне 1-3 Па·с более двух часов (рис.1), что более чем достаточно для качественной пропитки наполнителя.

Введение наполнителя (стеклоткань Т-10-14, углеродные однонаправленные ткани Porcher 4510, 4500, углеродный жгут Торауса Т-700SC) существенно не влияют на кинетику и реологию отверждения связующего (рис.2).

Срок хранения связующего и препрегов на основе вышеперечисленных наполнителей при температуре плюс 4°С составляет 1,5 месяца, при температуре минус 18°С – более года.

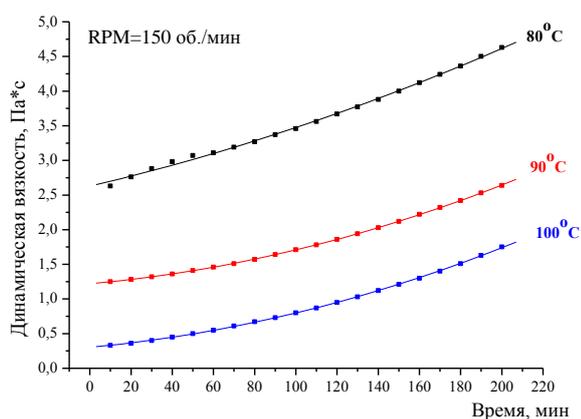


Рис.1. Зависимость динамической вязкости связующего ТЭИС-33М от времени изотермической выдержки при различных температурах (скорость сдвига - 150 об./мин)

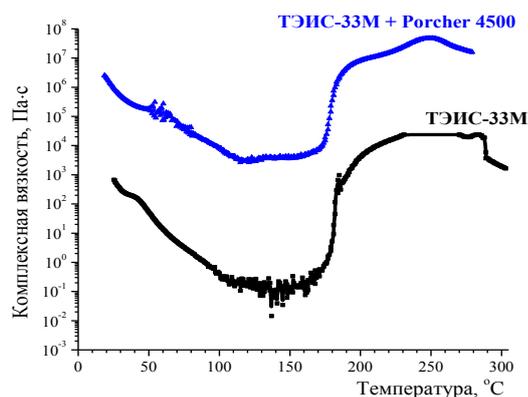


Рис.2. Температурная зависимость вязкости связующего ТЭИС-33М и препрега на основе связующего ТЭИС-33М и углеродной ткани Porcher 4500

В табл. представлены физико-механические свойства углепластиков на основе разработанного связующего.

Таблица

Физическо-механические свойства композита на основе связующего ТЭИС-33М и углеродной однонаправленной ткани Porcher 4500

Наименование показателя		Значение показателя
Плотность, г/см ³		1,58
Содержание наполнителя, % об.		64-67
Пористость, %		< 1
Толщина монослоя, мм		0,29-0,31
Температура стеклования, °C	сухого	220-225
	насыщенного влагой (0,5-0,6 %)	192-212
Равновесное влагосодержание, % мас.	20 °C, 90 % (49 суток)	0,68
	80 °C, 70 % (42 суток)	0,41
Предел прочности при растяжении, МПа при температуре, °C	20	2006
	150	2260
	180	2188
Модуль упругости, ГПа		126
Предел прочности при сжатии, МПа		1156
Предел прочности при изгибе, МПа		2139
Модуль упругости при изгибе, ГПа		135

На рис. 3 представлен динамический механический спектр углепластика на основе разработанного связующего по сравнению с композитами, применяемыми и разрабатываемыми в настоящее время для авиационной отрасли.

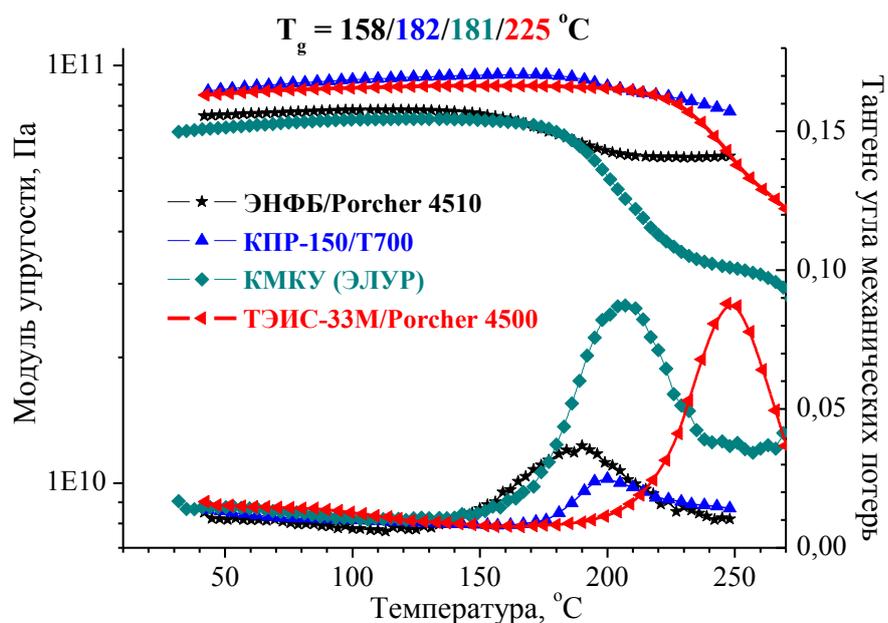


Рис.3. Динамический механический спектр углепластиков на основе различных связующих

Таким образом, проведенные исследования свойств углепластика на основе разработанного расплавленного эпоксиимидного связующего ТЭИС-33М показывают, что материал обладает повышенной теплостойкостью, хорошими механическими свойствами и его использование позволит повысить температуру и ресурс эксплуатации композитной оснастки и изделий авиационно-космического и специального назначения.

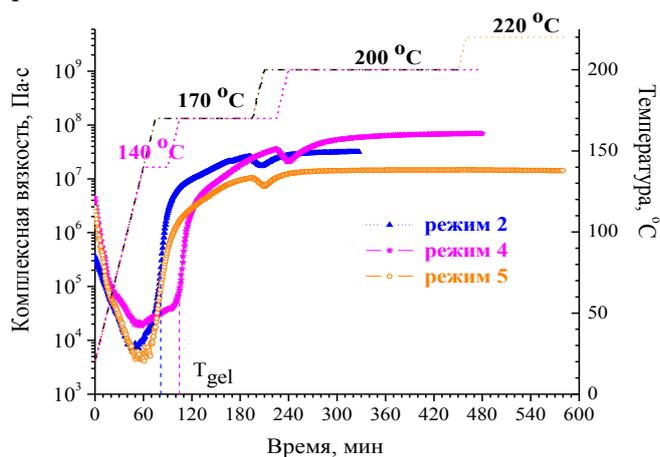
ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ФОРМОВАНИЯ УГЛЕПЛАСТИКОВ ИЗ ОДНОНАПРАВЛЕННЫХ ПРЕПРЕГОВ НА ОСНОВЕ РАСПЛАВНОГО ЭПОКСИБИСМАЛЕИМИДНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

О.В.Томчани, М.А.Сидоренко, В.Н.Мосиук, Е.И.Миронова, З.В.Морозова
 (ФГУП «ОНПП «Технология», г.Обнинск, Россия)

Эксплуатационные свойства высококачественных полимерных композиционных материалов (ПКМ) зависят от качества полуфабрикатов, полученных путем пропитки волокнистого наполнителя связующим (препрегов), из которых они изготовлены, и выбранных режимов их формования. Формование не является наиболее значимым фактором затрат в общих затратах на изделие из ПКМ, однако оно является кульминацией всех предварительных производственных процессов, так как определяет конечное качество изделия: толщину монослоя, степень отверждения, пористость.

Исследования режимов формования углепластика проводили с использованием препрега на основе расплавленного эпоксибисмалеимидного связующего ТЭИС-33М и углеродной однонаправленной ткани Porcher 4500. Препрег был изготовлен совмещением пленки расплавленного связующего и углеродного наполнителя без каландрирования. Для выбора температурно-временных условий формования препрега проводили исследования изменения его реологических свойств при заданных параметрах методом динамического механического анализа (рис.). Минимальная вязкость для всех исследованных режимов достигалась при температуре ~120°C, однако подъем температуры сразу до 170-180°C, без промежуточной изотермической выдержки, приводил к большому снижению вязкости препрега и, соответственно, повышенному течению связующего, что являлось причиной повышенной пористости углепластиков. Дополнительно проведенные исследования методом ДСК показали,

что степень отверждения на момент окончания выдержки при 170°C при всех режимах формования составляет не менее 95 %.



Температура, °C	Выдержка, ч, в процессе режима		
	2	4	5
1 0	-	0,5	-
170	2	2	2
200	2	4	4
220	-	-	2

Рис. Изменение комплексной вязкости препрегов в процессе формования углепластиков на основе эпоксибисмалеимидного связующего ТЭИС-33М по различным режимам

Были также проведены исследования по влиянию реологических свойств связующего в препреге на выбор времени подачи автоклавного давления, определены условия формования, позволяющие снизить отток связующего и тем самым сохранить уровень давления связующего приближенным к автоклавному.

По выбранному согласно предварительным исследованиям режиму формования были изготовлены образцы углепластиков и показана возможность получения композиционного материала с низким уровнем пористости (менее 1 %) и хорошими физико-механическими показателями.

ТЕРМОСТОЙКИЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Н.Мосиук, О.В.Томчани, М.А.Сидоренко, С.А.Долматов
(ФГУП «ОНПП «Технология», г.Обнинск, Россия)

Возрастающий уровень требований к полимерным композиционным материалам (ПКМ) приводит к необходимости разработки новых материалов и технологий. Лимитирующим звеном в создании тепло- и термостойких ПКМ является полимерная матрица. Для ее изготовления используется широкий круг синтетических смол, однако традиционно термостойкие термореактивные связующие для высококачественных ПКМ создаются на основе фенолформальдегидных, полифункциональных эпоксидных и полиимидных смол. В последнее время этот список расширился за счет цианатных связующих и материалов на основе бензоксазинов. В данной работе проведен анализ современного отечественного и зарубежного рынка термостойких связующих.

Композиты на основе фенолформальдегидных смол давно и успешно используют в тех областях, где требуются повышенная огнестойкость и низкая стоимость. Теплостойкость ПКМ на основе фенолформальдегидных матриц – 180-250°C [1]. Недостатками этих связующих является конденсационный механизм их отверждения, заметная усадка при отверждении и повышенная пористость ПКМ, что снижает их механические характеристики.

В последнее время активно развивается новый класс фенольных смол – полибензоксазины, который появился при попытке преодолеть недостатки, свойственные традиционным фенольным

смолам. Эти полимеры сочетают высокую термо- и огнестойкость, присущие фенольным смолам, с хорошими механическими показателями и широкими возможностями варьирования структуры, характерными для эпоксидных смол. Полибензоксазины отверждаются без выделения летучих и обладают отличной размеростабильностью, что не свойственно традиционным фенольным смолам. Температура стеклования этих связующих в зависимости от строения смол составляет 160-260°C [2]. Промышленно доступные бензоксазины отсутствуют на российском рынке, на зарубежном их предлагают фирмы “Huntsman Advanced Materials” и “Henkel Corporation” [3].

Большой ассортимент рынка эпоксидных смол, позволяющий управлять свойствами материалов на их основе, а также их хорошие механические свойства и устойчивость к воздействию различных факторов внешней среды способствовали тому, что ПКМ на основе эпоксидных связующих являются самыми востребованными для изделий авиационно-космической техники. Для создания связующих с термостойкостью выше 150°C используют полифункциональные эпоксидные смолы на основе новолаков, аминофенолов, диаминодифенилметана, дициклопентадиена. По литературным данным, связующие на основе N,N,N',N'-тетраглицидилметиленадианилина (ТГМДА) являются наиболее распространенными матрицами для композитов, применяемых в судостроении и космической технике [4]. Зарубежные фирмы предлагают этот продукт с различной вязкостью (например, смолы Araldite MY 720, MY 721, MY 9512 фирмы “Huntsman” с вязкостью от 3 до 18 Па·с), позволяя создавать связующие для различных технологий изготовления ПКМ (препреговая, пропитка под давлением и др.). Линейка эпоксидных связующих фирмы “Hexcel” с теплостойкостью выше 175°C насчитывает более двух десятков продуктов. В России рынок полифункциональных эпоксидных смол, к сожалению, ограничен несколькими промышленно доступными марками – хлорсодержащей тетрафункциональной смолой ЭХД, эпоксиноволачными смолами ЭН-6, УП-643, аминофенольной УП-610. Промышленно выпускаемые теплостойкие связующие, созданные на их основе, также немногочисленны – ЭНФБ (ТУ 1-596-36-2005), УП-2227 (ТУ 1-595-12-542-98), ЭДТ-69Н (ТУ 1-595-12-584-2000).

Теплостойкость связующих на основе полифункциональных эпоксидных смол может достигать 200-220°C. Для получения ПКМ с более высокой теплостойкостью используют связующие на основе полиимидных смол, среди которых предпочтение отдается бисмалеимидам, которые отверждаются без выделения летучих. Теплостойкость бисмалеимидных связующих составляет 250-300°C, полиимидных (СП-97, АПИ-3, PMR15, LaRC160) достигает 350-390°C. Зарубежный рынок бисмалеимидных смол менее обширный, чем эпоксидных, основными производителями являются фирмы “Evonic Technochemia GmbH” (Германия), ABR Organics Limited (Индия). Наиболее распространенным для создания связующих для ПКМ является 4,4'-дифенилметанбисмалеимид. В России в настоящее время производство бисмалеимидов ограничено композицией, состоящей из 75 % N,N-метафениленбисмалеимида и 25 % связующих добавок (ОАО “Пигмент”, г.Тамбов).

Цианатные связующие относятся к новому поколению термореактивных материалов с теплостойкостью до 200°C, обладающих высокой прочностью, очень низким влагопоглощением, хорошими диэлектрическими показателями. По технологичности цианатные связующие близки к эпоксидным, однако благодаря своим реологическим свойствам и незначительному количеству летучих режим их отверждения более простой [3]. Высокая стоимость цианатных связующих ограничивает их применение в основном авиакосмической отрасли.

Еще один класс смол для создания термостойких связующих – фталонитрилы, разработанные Naval Research Laboratory, США. На зарубежном рынке представлены фирмой “Eikos Inc.” Температура эксплуатации этих связующих достигает 370°C [3].

В литературе также известен подход в области создания теплостойких связующих, основанный на реализации взаимопроникающих сеток, т.е. введении в систему до ее отверждения двух и более мономеров, способных к образованию независимой сетки по различным механизмам полимеризации. Такой подход был использован в ФГУП “ОНПП

“Технология” при создании нового расплавленного теплостойкого эпоксибисмалеимидного связующего ТЭИС-33М на основе полифункциональных эпоксидных смол и гексаметиленбисмалеимида. Температура стеклования углепластиков на основе разработанного связующего – выше 220°C.

Матрицам на основе термостойких термореактивных смол свойственна повышенная хрупкость и разрушение при низких напряжениях и недостаточно большой пластической деформации. Величины критического коэффициента интенсивности напряжений K_{1C} и критической скорости высвобождения упругой энергии G_{1C} , характеризующие вязкость разрушения (трещиностойкость), для таких материалов низкие и обычно составляют соответственно 0,5-1,0 МПа·м^{1/2} и 20-200 Дж/м². Для повышения ударной вязкости и трещиностойкости ПКМ теплостойкие связующие, как правило, модифицируют термопластами и каучуками. Нужно отметить, что разработанное расплавленное связующее ТЭИС-33М обладает повышенной трещиностойкостью даже без такой модификации: K_{1C} связующего ТЭИС-33М составляет 1,7 МПа·м^{1/2} (ГОСТ 25.506-85), а G_{1C} однонаправленного углепластика – 1045 Дж/м² (ASTM D 5528-01(07)).

Литература

1. Технические свойства полимерных материалов: Учеб.-справ. пособие/ В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко, Ю.В. Крыжановская. СПб.: Профессия, 2007.
2. W.H.Li, S.L.Lehmann, R.S. Wong. Advanced Composite Structures Using New Resin Technology Offer Weight And Cost Savings. Henkel Corporation, Aerospace Group.
3. Resin matrices: Thermosets. Sourcebook. <http://www.compositesworld.com/articles/the-matrix>.
4. Эпоксидные теплостойкие полимерные материалы. Обзорная информация. Серия Реакционноспособные олигомеры и полимерные материалы на их основе. М.: НИИТЭХИМ, 1989.

СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ КМ

К.Р.Ахмадиева, Р.Р.Мухаметов, Л.В.Чурсова (ФГУП “ВИАМ” ГНЦ РФ, г.Москва, Россия)

Целью исследований является разработка составов теплостойких связующих на рабочую температуру ПКМ на их основе до 200°C, перерабатываемых по перспективным технологиям.

Одной из перспективных технологий, позволяющих исключить стадии изготовления полуфабриката или исключить из технологического процесса стадию дорогостоящего автоклавного формования, является технология RTM (resin transfer moulding, пропитка под давлением) и RFI (resin film infusion, формование с использованием пленочного связующего).

На основе бис-цианового эфира бисфенола А осуществлена разработка метода синтеза поли-1,3,5-триазинсодержащих связующих и получены олигоцианураты, удовлетворяющие технологическим требованиям к связующим, перерабатываемым методами RTM и RFI.

Разработанные методы синтеза триазинсодержащих связующих позволили получать их в виде низковязкой смолы (для метода RTM) и в виде высоковязкой полутвердой смолы (для метода RFI). Отверждение разработанных связующих происходит в результате дальнейшей циклотримеризации N≡C–O-групп и контролируется методами ДСК и ИК-спектроскопии. Отверждение связующих протекает без выделения каких-либо низкомолекулярных продуктов реакции, что позволяет не только получать монолитные матрицы и ПКМ на их основе, но и реализовать упрощенный технологический режим. Пост-отверждение материала при 200°C практически не увеличивает его деформационную теплостойкость, однако необходимо для осуществления перестройки надмолекулярной организации матрицы – перехода от глобулярной структуры к фибриллоподобным образованиям, способствующим протеканию релаксационных

процессов и уменьшению внутренних напряжений. Разработанный ступенчатый режим отверждения позволил получить полимерные матрицы с высокими физико-механическими характеристиками (табл.).

Таблица

Физико-механические свойства триазинсодержащей полимерной матрицы

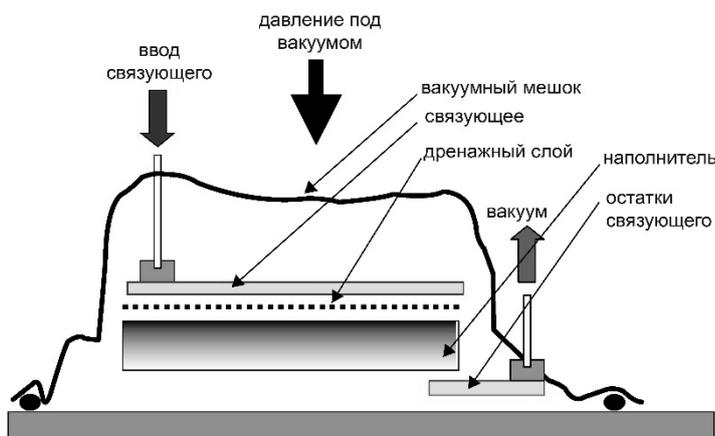
№ п/п	Показатель	Значение
1	Плотность, г/см ³	1,23
2	Прочность при растяжении σ^+ , МПа	80-90
3	Модуль упругости при растяжении E^+ , ГПа	3,2
4	Относительное удлинение ϵ , %	3,2
5	Трещиностойкость G_{IC} , Дж/м ²	130-140
6	Температура стеклования, °С	240-250

ПКМ, полученные по технологиям RTM и RFI с использованием полициануратного сетчатого полимера, могут быть использованы для изготовления различных узлов авиационной техники на рабочую температуру до 200°С.

ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПКМ МЕТОДОМ RTM

Р.Р.Мухаметов, К.Р.Ахмадиева, Ю.И.Канзафарова
(ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, г.Москва, Россия)

В настоящее время наряду с традиционными методами производства изделий из композиционных материалов: пултрузия, намотка, формование под давлением SMC (Sheet Moulding Compound), DMC (Bulk Moulding Compound), открытое формование (контактное формование и напыление), широкое применение находит технология RTM (Resin Transfer Moulding). Одной из разновидностей RTM-процесса является вакуумная инъекция (VARTM), отличающаяся своими формообразующими элементами. В качестве пуансона в методе VARTM используют светопрозрачную пленку. Сущность метода заключается в инъекции смолы в армирующий слой под действием вакуума и постепенное заполнение всего межволоконного пространства (рис.)



В настоящей работе ставится задача по разработке состава и технологии переработки связующего для конструкционного КМ с рабочей температурой от 120°С. Связующие, используемые для создания высокопрочных пластиков методом вакуумной инъекции, должны обладать комплексом технологических и эксплуатационных свойств. Технологические свойства

включают требования по вязкости связующего, которая не должна превышать 0,2-0,5 Па·с, и ее сохранение в течение заданного периода времени; скорость и температуру структурирования (отверждения) связующего; тепловой эффект реакции полимеризации и др. Кроме этого, полимерная матрица должна обладать теплостойкостью не менее 150°C, высокой прочностью, деформативностью и трещиностойкостью. Цель настоящего исследования формулировалась как достижение компромисса между несколькими группами взаимно противоречивых характеристик: прочностью, жесткостью и теплостойкостью; пластичностью и трещиностойкостью полимерной матрицы; вязкостью связующего и т.п. Решение поставленной задачи стало возможным за счет использования низковязкого расплавленного связующего на основе полифункциональной азотсодержащей смолы и жидкого ароматического отвердителя. Разработанное связующее представляет собой смолообразную массу с вязкостью 0,5 Па·с, желатинизирующую на полимеризационной плитке при 120 и 150°C в течение 20 – 30 и 5 – 10 мин., соответственно. Разработан ступенчатый режим отверждения связующего в интервале температур 100 – 160°C, позволивший получить полимерные матрицы с высокими физико-механическими характеристиками (σ^+ 80 - 90 МПа, ϵ до 3 %, E^+ до 4 ГПа). Благодаря наличию большого числа ароматических ядер в цепи, а также высокой функциональности эпоксидно-аминных олигомеров, повышается стабильность механических показателей сетчатого полимера на основе разработанного связующего при повышенных температурах. Снижение вязкости связующего до требуемых показателей (не более 0,5 Па·с) стало возможным за счет введения в состав связующего жидких ненасыщенных олигоэфиракрилатов. Модификация химической структуры полимера происходит за счет образования структуры типа взаимопроникающих полимерных сеток (ВПС). Первая сетка образуется по реакции радикальной полимеризации олигоэфиракрилата под действием перекисных радикалов, вторая сетка образуется по реакции полиприсоединения азотсодержащей эпоксидной смолы с ароматическим диамином. Полимерная матрица типа “взаимопроникающих сеток” и “полувзаимопроникающих сеток” (полу-ВПС) отличается более высокими прочностными свойствами. Причина повышения деформационно-прочностных свойств ВПС заключается в более тонкой надмолекулярной организации полимеров, полученных методом одновременного отверждения. При этом наиболее совершенные фрагменты одной сетки локализуются в дефектных областях другой сетки и наоборот, что приводит к их взаимному упрочнению, поскольку разрушение полимеров происходит по дефектным межглобулярным зонам. Таким образом, ВПС образуют более однородную фазовую систему, в которой происходит “вынужденное” совмещение разнородных макромолекул и которая обладает широкой температурной областью демпфирования, охватывающей интервал между двумя переходами, соответствующими температуре стеклования отдельных компонентов. Использование низковязких олигоэфиракрилатов позволило получить связующее с реологическими свойствами, удовлетворяющее технологическим требованиям получения изделий методами вакуумной инъекции. Кинетические параметры отверждения модифицированного связующего практически не отличаются от исходного состава. Свойства связующих и полимерных матриц представлены в табл.

№ п/п	Наименование показателя	Исходное связующее	Модифицированный состав
1.	Внешний вид	Низковязкая смола коричневого цвета	
2.	Вязкость при температуре 70°C, Па·с	0,4	0,17
3.	Время желатинизации при температуре (120±2) °C, мин.	28	35
4.	Температура стеклования Tg dry, °C	200	195

№ п/п	Наименование показателя	Исходное связующее	Модифицированный состав
5.	Температура стеклования после кипячения образца в воде в течение 7 ч, T _g wet, °С	180	188
6.	Плотность отвержденного связующего, г/см ³	1,2461	1,2487
7.	Эпоксидное число, %	22,72	
8.	рН водной вытяжки	7,87	7,30
9.	Предел прочности при растяжении σ^+ , МПа	80	85
10.	Модуль упругости при растяжении E ⁺ , ГПа	4,1	3,9
11.	Относительное удлинение при растяжении ϵ , %	1,7	2,1

Полимерные матрицы со структурой ВПС обеспечивают композитам высокие физико-механические свойства и работоспособность вплоть до температуры 150°С.

ИССЛЕДОВАНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ БАЗАЛЬТОВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИТОВ

А.В.Суханов (ООО “Компания “Армопроект”, г.Москва, Россия)

Базальтоволокнистые композиты – сравнительно новый класс полимерных композитов, в основе которых непрерывное базальтовое волокно диаметром элементарных волокон от 9 до 20 мкм и полимерное связующее. В последние годы все больше исследователей, конструкторов и технологов обращают свое внимание на этот конструкционный материал, который имеет целый комплекс существенных преимуществ перед стеклопластиковыми на основе Е-стекла и практически “подбирается” по своим механическим характеристикам к стеклопластику на основе высокомодульных и высокопрочных стеклянных волокон.

Количество публикаций, посвященных изучению свойств базальтоволокнистых композитов и конструкций из них, их перспективам и направлениям внедрения, растет.

При этом практически отсутствуют исследования по изучению особенностей их переработки различными технологиями, но утверждается, что технологические режимы и параметры, установленные для переработки стекловолоконных композитов различными технологиями можно перенести на базальтоволокнистые композиты. Выполненный цикл исследований, а также наблюдения и анализ технологичности и реализации механических свойств в композите показал, что это не всегда соответствует действительности. Экспериментальные исследования по изучению особенностей переработки базальтоволокнистых композитов были выполнены на разномасштабных образцах различными технологиями:

- технология “мокрой” кольцевой и спирально-кольцевой намотки на трубчатых образцах диаметром 50 мм, 150 мм, 300 мм, 420 мм и баллонах давления диаметром 1000 мм;
- технология “мокрой” спирально-кольцевой намотки при изготовлении трехслойных оболочек диаметром 1200 мм с внутренним слоем из многостеночных пултрузионных профилей;
- технология “мокрой” кольцевой намотки на плоскую оправку;
- технология намотки тканым препрегом однослойных оболочек диаметром 360 мм и 1900 мм;
- технология пултрузии профилей разного поперечного сечения: сплошных, коробчатых и многоканальных.

При выполнении исследований и изучении особенностей переработки варьировались следующие параметры: диаметр элементарного волокна в ровинге, замасливатель, натяжение

нитей (ровингов), скорость намотки (пултрузии), нанос связующего, количество ровингов в ленте при намотке, конфигурация нитенатяжного тракта. При этом контролировались параметры: состояние поверхности волокна при прохождении нитенатяжного тракта, склонность к “пушению” и травмируемость волокон, пропитываемость волокон.

После термообработки заготовок и изготовления исследуемых образцов выполнялся комплекс исследований физико-механических характеристик полученных базальтоволокнистых композитов на образцах.

В процессе выполнения исследований изучались особенности переработки непрерывных базальтовых волокон различных производителей, которые отличались как технологией изготовления, что определяло состояние поверхности волокна, стабильность диаметров, травмируемость и т.п., так и замасливателями.

Выполненный комплекс исследований позволил установить некоторые особенности переработки базальтоволокнистых композитов методом “мокрой” намотки и пултрузии, уточнить параметры и режимы технологических процессов, что позволило повысить реализацию свойств базальтоволокнистых композитов и стабилизировать технологический процесс изготовления.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

И.Е.Кичибеква, К.Г.Кравченко, А.В.Соколова
(ООО “НТИЦ АпАТЭК-Дубна”, г.Дубна, МО, Россия)

В процессе эксплуатации изделий из стеклопластика на них воздействуют факторы внешней среды, которые могут ухудшать их рабочие свойства. Такие компоненты, как двуокись азота, двуокись серы, сероводород, аммиак являются следствием загрязненности воздуха активными примесями, и в последнее время их концентрация сильно увеличилась, особенно в крупных городах. На железной дороге возможен прямой контакт изделий с дизельным топливом, кислотами, щелочами и другими реагентами, в связи с чем проверка поведения материалов при действии этих сред является обязательной.

Выполненная работа направлена на исследование стойкости винилэфирного стеклопластика к воздействию агрессивных сред. Результаты проведенных исследований являются составной частью доказательной базы, представленной в ФЦС Росстроя России, которая послужила основанием для выдачи Технического Свидетельства на винилэфирный стеклопластик, разрешающего его применение в строительстве и мостостроении.

Оценка воздействия агрессивных сред на рабочие характеристики стеклопластика производилась в соответствии с ГОСТ 12020-72. В качестве показателей, по которым оценивалась деградация материала после воздействия химического реагента, были выбраны внешний вид, масса, линейные размеры образцов стеклопластика и их упруго-прочностные характеристики при изгибе. Оценка изменения свойств образцов стеклопластика производилась после их выдержки в течение трех, десяти и тридцати суток в различных химических средах.

В качестве агрессивных сред были использованы: дизельное топливо марки “Л” ГОСТ 305-82, масло машинное М-14В2 ГОСТ 12337-84 изм.1-6, а также водные растворы следующих химических веществ:

- кислота серная ГОСТ 4204, 3%-ый раствор;
- гидроксид натрия ГОСТ 4328, 1%-ый раствор;
- селитра аммиачная ГОСТ 2-85, 10 %-ый раствор;
- хлористый калий ГОСТ 4568-95, 10 %-ый раствор;
- суперфосфат ГОСТ 5956-78, 10 %-ый раствор;
- кислота азотная ГОСТ 4461-77, 10 %-ый раствор.

Проведенная работа позволила сформулировать следующие выводы:

1. Сохранение упруго-прочностных характеристик при изгибе образцов на первоначальном уровне после экспозиции в восьми средах подтвердило высокую химическую стойкость винилэфирного стеклопластика. Модуль упругости сохранился на уровне контрольных образцов, некоторое повышение прочности при изгибе, вероятно, связано со снижением остаточных напряжений в материале;

2. Измерением геометрических размеров установлено, что через 30 суток после выдержки в химических средах ширина и длина образцов изменилась на сотые доли процента, в то время как толщина увеличилась:

- в серной кислоте – на 0,29 %;
- в щелочи – на 0,49 %;
- в дизельном топливе – на 0,61 %;
- в селитре аммиачной – на 0,91 %.

3. Зафиксированные изменения толщины согласуются с изменением массы образцов, измеренной через 30 суток после выдержки в химических средах, которая составила для:

- серной кислоты – 0,113 %;
- щелочи – 0,041 %;
- дизельного топлива – 0,123 %;
- селитры аммиачной – 0,139 %;
- калийного удобрения – 0,090 %;
- моторного масла – 0,120 %;
- азотной кислоты – 0,037 %;
- суперфосфата – 0,064 %.

Приведенные данные свидетельствуют о незначительном набухании образцов стеклопластика в указанных средах. Некоторое расхождение, которое имеет место в случае выдержки образцов в щелочи, возможно, связано с тем, что наряду с процессом поглощения среды идет вымывание полимерной матрицы.

4. При оценке внешнего вида образцов после экспозиции в средах было выявлено незначительное изменение (легкая белесость) состояния поверхности только у образцов, выдержанных в щелочи и селитре, остальные образцы не претерпели никаких изменений.

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ПРЕПРЕГА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТОВ МАРКИ СТЭФ

В.Т.Зеленко (ООО “АпАТЭК-Полоцк”, г.Полоцк, Республика Беларусь)

Оптимизация технологического процесса изготовления препрега для изготовления стеклотекстолитов марки СТЭФ заключается в подборе оптимальных характеристик электроизоляционных стеклотканей для получения требуемых характеристик препрега и стеклотекстолита, а также в разработке оптимальной рецептуры связующего для пропитки электроизоляционных стеклотканей, позволяющей получить высокую производительность при пропитке стеклотканей без ухудшения качества препрега.

Препрег для изготовления стеклотекстолитов используется в электротехнической отрасли для производства нефольгированных диэлектриков.

В процессе подбора оптимальных характеристик электроизоляционных стеклотканей был проведён анализ материалов для получения препрегов, используемых для изготовления стеклотекстолитов. Для получения необходимых характеристик стеклотекстолита была выбрана электроизоляционная стеклоткань с поверхностной плотностью 206 г/м².

В результате анализа связующих, применяемых для изготовления препрегов, предпочтение было отдано эпоксидно-фенольному связующему. В качестве компонентов связующего были

использованы новолачные фенолоформальдегидные смолы и эпоксидные смолы. Оптимизация рецептуры связующего заключается в замене растворителей с высокой температурой кипения (толуол, спирты) на растворитель с более низкой температурой кипения. В качестве растворителя был выбран ацетон. В качестве отвердителя использовался уротропин. Количество уротропина было подобрано опытным путём для получения необходимых технологических свойств связующего.

На основе указанных компонентов была разработана рецептура приготовления связующего и опробована в лабораторных условиях для получения необходимых технологических параметров: условной вязкости, времени желатинизации, температуры полимеризации.

Для получения препрега в условиях производства была изготовлена партия связующего в объёме реактора. Особенность процесса изготовления связующего заключалась в разделении процессов приготовления растворов эпоксидной смолы и фенолоформальдегидной смолы. После соединения двух растворов на последней стадии приготовления связующего вводится уротропин в виде водного раствора. Количество уротропина подбиралось опытным путём для получения необходимого времени желатинизации. Были получены следующие характеристик связующего:

1 – плотность – 0,930 г/см³;

2 – время желатинизации при 170±2 °С – 314 с.

С применением указанного стеклонаполнителя и приготовленного связующего были изготовлены опытные образцы препрега. Препрег изготавливался пропиткой стеклонаполнителя связующим на пропиточной установке вертикального типа с электрическим обогревом сушильной камеры.

Из полученного препрега был изготовлен образец стеклотекстолита толщиной 6 мм. Образец изготавливался для определения технологичности препрега в процессе прессования, а также для определения физико-механических и электротехнических характеристик стеклопластика. При визуальном осмотре образца стеклотекстолита было установлено, что расслоения пакета отсутствуют, не пропитанные участки отсутствуют.

На основании результатов, полученных при технологических отработках, были разработаны технические требования к препрегу для изготовления стеклотекстолитов марки СТЭФ.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БРУСЬЕВ И ПЛИТ БЕЗБАЛЛАСТНОГО МОСТОВОГО ПОЛОТНА ИЗ КМ

М.А.Хруленко (ООО “НТИЦ АпАТЭК-Дубна”, г.Дубна, МО, Россия)

Безбалластное мостовое полотно (БМП) и брусья из композитных материалов по сравнению с аналогичными конструкциями из традиционных материалов (железобетон и дерево) обладают большей долговечностью и повышенной технологичностью. Последняя обуславливается сравнительной легкостью устройства строительного подъема на мосту.

Применение современных композитных материалов в конструкции безбалластного мостового полотна позволили увеличить долговечность конструкции до 50 лет, что подтверждается расчетами.

Настоящая работа включала в себя технологическую часть, которая была проведена в соответствии с планом НИОКР на 2009 г, по теме “Разработка конструкции бруса БМП из КМ тип II-2000 и плит БМП из КМ тип I-1900 L=1490 мм”. Работа проводилась по договору с НИИ Мостов (г.Санкт-Петербург).

Цель настоящей работы состояла в разработке комплекса технологических приемов при изготовлении бруса БМП из КМ тип II-2000 и плит БМП из КМ тип I-1900 L=1490 мм. с использованием метода вакуумной инфузии.

Работа проводилась в тесном сотрудничестве с компанией LWS. На этапах проработки технологии были разработаны и проведены технологические эксперименты:

– по отработке технологии крепления дюбеля 2003-02.00.000 путевого шурупа в композитной подрельсовой опорной площадке;

– по отработке пропитки разнотолщинной панели методом вакуумной инфузии с целью получения требуемых данных для математического моделирования процесса пропитки.

Разработана концепция изготовления опытного образца бруса БМП из КМ тип II-2000 и плиты БМП из КМ тип I-1900 L=1490 мм.

В процессе разработки технологии произведена оптимизация раскроя стеклонаполнителя и закладных элементов в программе AutoCad 2007. Разработаны схемы раскроя и укладки в соответствии с требованиями конструкторской документации для бруса БМП.0368.20.10 и плиты ПБМП.0366.019.10.

Предложен метод предварительного вакуумного обжатия пакета заготовки в промежуточной форме. Решена задача по обеспечению укладки набранного пакета стеклонаполнителя и закладных в форму с обеспечением расчетного количества стеклонаполнителя. Отработаны различные схемы пропитки бруса.

ОСВОЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВАКУУМНОЙ ИНФУЗИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЙ АРОЧНОГО МОСТА

С.В.Дубинский, Е.И.Корниенко

(ООО “НТИЦ АпАТЭК-Дубна”, г.Дубна, МО, Россия)

Работа состояла в освоении не применявшейся ранее на предприятиях “АпАТЭК” технологии вакуумной инфузии для изготовления пролётных строений арочного моста.

Проект по созданию арочного моста включал несколько фаз, каждая из которых выполнялась на основе отдельного технического задания. Требования к этапу технологической реализации проекта были разработаны авторами и ориентированы на сотрудничество с инжиниринговой компанией “Lightweight Structures B.V.” (Голландия), осуществлявшей технический консалтинг проекта. На основе рекомендаций, полученных от голландских специалистов, была разработана базовая технологическая концепция, адаптированная к условиям “АпАТЭК”.

Для предложенной концепции мастер-модели на основе материалов, коммерчески доступных на отечественном рынке, был найден оптимизированный вариант её практического исполнения. С использованием мастер-моделей были изготовлены формы для набора армирующего пакета и дальнейшей инфузии, а также боковые вставки для оформления арочной части центрального пролёта. На основании расчётов, сделанных в рамках предыдущих этапов проекта, были подобраны конкретные типы стеклотканей, разработана схема раскроя и укладки армирующего наполнителя. Стратегия инфузии разрабатывалась с использованием как результатов экспериментов на натуральных образцах, так и модельных экспериментов в лабораторных условиях. Зарегистрированные параметры процесса инфузии были использованы для математического моделирования течения связующего, что позволило достичь оптимального времени пропитки изделия за счёт вариации расположения линий впуска/выпуска. Кроме того, полученные данные позволили обосновать выбор конкретных типов базовых материалов и некоторые относительно сложные технические решения, заложенные в проект (герметизация формы, использование двухкомпонентного пенополиуретана для заполнения боковин, съём изделия с формы и т.д.)

Разработанные процедуры легли в основу производственного процесса, результатом которого явилось создание первой в России мостовой конструкции, пролётные строения которой общей длиной 22,6 метра целиком изготовлены методом вакуумной инфузии.

ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ ЛЕНТЫ СЕРИИ АБРИС-А ДЛЯ ВАКУУМНОГО ФОРМОВАНИЯ ПОЛИМЕРНО-КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Т.А.Артамонова, О.В.Шашунькина, Г.А.Савченкова

(ООО “Завод герметизирующих материалов”, г.Дзержинск, Россия)

ООО “Завод герметизирующих материалов” производит герметизирующие ленты (жгуты) серии Абрис-А ТУ 2513-002-43008408-98 для создания и герметизации вакуумных мешков при проведении вакуумных процессов различного типа (вакуумная инфузия, печное и автоклавное формование полимерно-композиционных материалов). Герметизирующие ленты применяются при формировании деталей в авиакосмической промышленности, формировании стекол и изделий сложной конфигурации из стеклопластика в автомобильной промышленности, судостроении, строительстве.

Герметизирующие ленты серии Абрис-А изготавливаются из отечественного сырья и представляют собой ленты, полученные методом экструдирования полимерной композиции на основе каучуков, наполнителей, пластификаторов, адгезионных и технологических добавок. Паро-, газонепроницаемая лента обладает хорошей самоклеящейся способностью к стали, алюминию, стеклопластику, углепластику, вакуумной пленке. В процессе вакуумного формования ленты обеспечивают высокую прочность присоединения вакуумного мешка к поверхности матрицы, шлангам, штуцерам и герметичность технологических процессов при различных температурах и давлении. По окончании процесса формования герметизирующая лента хорошо удаляется с оснастки, не требуя применения механических скребков и растворителей. Гарантийный срок хранения материала составляет не менее 12 месяцев.

В соответствии с нормативной документацией выпускается две марки герметизирующей ленты серии Абрис-А: ЛБпеч. и ЛБавт. Технические характеристики ленты представлены в табл.

Показатели	Марки	
	ЛБпеч.	ЛБавт.
Цвет	Светло-серый	Черный
Ширина, мм	15	15
Толщина, мм	3	3
Длина в рулоне, м	20	20
Пенетрация, 0,1 мм	30-65	30-65
Плотность, г/см ³	1,3	1,1
Прочность связи с металлом при отрыве, МПа, не менее	0,1	0,1
Герметичность при:		
180°С – 6 ч.	+	+
180°С – 6 ч, давление до 2 атм	+	+
180°С – 6 ч, давление до 10 атм	-	+
Диапазон рабочих температур,°С	-60...+180	-60...+180

Герметизирующая лента серии Абрис-А серийно поставляется на авиапромышленные предприятия. Продукция сертифицирована в Госстандарте России, имеет санитарно-гигиеническое заключение. Система качества, действующая на ООО “Завод герметизирующих материалов” сертифицирована на соответствие ГОСТ Р ИСО 9001-2000.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.Н.Иванов, Б.М.Никитин, С.И.Брыков, В.И.Добровольская, Г.В.Будкин
(ФГУП “ВНИИТВЧ”, г.Санкт-Петербург, Россия)

Воздействие высокочастотных электромагнитных полей на различные материалы и среды позволяют создавать технологические процессы, которые другим способом реализовать невозможно. Использование особенностей этого метода позволяют с большой скоростью нагревать равномерно по всему объёму или градиентно проводники, полупроводники, диэлектрические материалы. При этом энергия выделяется в заданном объёме и скорость нагрева не зависят от теплопроводности материала.

Мы можем создать безэлектродный разряд в ионизированном газе и получить самую чистую плазму для плазмохимии и воздействия на поверхности.

Использование этих методов позволило ФГУП “ВНИИТВЧ” создать ряд технологических процессов для металлургии, машиностроения, электротехнической, атомной, медицинской и др. отраслей промышленности.

Используется также высокочастотная техника при производстве композиционных материалов.

Разработана, изготовлена и внедрена установка для повышения адгезионных свойств полимерных материалов в барьерном разряде.

Создана и внедрена установка для графитизации углеродных нитей при использовании контактной передачи тока высокой частоты (1,76 МГц) к нагреваемой нити.

Для повышения скорости нагрева и склейки сотопакетов создана установка для нагрева в поле конденсатора при частоте 17 МГц.

Созданы и внедрены установки для производства конструкционных композиционных материалов, формируемых из стекловолокна и эпоксидной, фенольной и других смол, нагреваемых в поле конденсатора до температуры полимеризации смолы.

Создана гамма установок для переработки диэлектрических и полупроводниковых материалов: спекания керамики, плавки и кристаллизации стекол, лейкосапфиров, высокотемпературных окислов и др. композиционных материалов.

Одним из важнейших направлений исследований ФГУП “ВНИИТВЧ” является создание плазменных технологий для получения нанопорошков и полых сфер, а также сфероидизация частиц, используемых при изготовлении композиционных материалов.

Проведён эксперимент по получению в специальной камере при использовании индукционного нагрева карбида кремния из рисовой шелухи при температуре 2000°C и углеродного материала в вакууме при температуре 3000°C.

Создана и внедрена гамма стационарных высокочастотных и ультразвуковых установок для сварки внахлестку (2-х, 3-х и более) слоёв термопластичных однородных и разнородных материалов.

ФГУП “ВНИИТВЧ” готов сотрудничать с предприятиями, производящими и использующими композиционные материалы и конструкции, помогать внедрять созданные технологии и оборудование и создавать новые.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК СЕРИИ “ТАУНИТ” В ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

З.Г.Леус, А.Г.Ткачев, А.Н.Блохин, Н.А.Колесникова
(ГОУ ВПО ТГТУ, г.Тамбов, Россия)

В Тамбовском государственном техническом университете совместно с ООО “НаноТехЦентр” и ОАО “Тамбовский завод “Комсомолец” им. Н.С.Артемова” разработан ряд углеродных наноматериалов (УНМ) серии “Таунит” и созданы технологические линии их опытно-промышленного производства. Эти технологии основаны на принципе каталитического пиролиза углеводородного сырья, в качестве которого используется пропан – бутан и другие углеводороды. УНМ представлены многостенными углеродными нанотрубками (УНТ). Выход УНТ составляет до 50 масс. частей на 1 масс. часть катализатора – смешанного оксида металлов. Благодаря высокому выходу, содержание минеральных примесей в получаемых УНТ относительно невелико, обычно 2 – 4%, что для многих областей применения позволяет обойтись без дополнительной кислотной очистки.

На сегодняшний день производятся следующие марки УНТ:

– “Таунит”, представляющий собой углеродные нановолокна с конической ориентацией слоев, внешний диаметр 20-70 нм, внутренний 5-10 нм, удельная поверхность 120 – 130 м²/г, насыпная плотность 0,4 – 0,6 г/см³;

– углеродные нанотрубки “Таунит-М”, представляющие собой коаксиальные углеродные нанотрубки с внешним диаметром 8-15 нм, внутренним – 4 – 8 нм, длина 2 мкм и более, удельной поверхностью 300-320 м²/г, насыпной плотностью 0,03 -0,05 г/см³;

– углеродные нанотрубки “Таунит-МД” – длинные коаксиальные углеродные нанотрубки диаметром 30-80 нм, длиной более 20 мкм, удельной поверхностью 200 м²/г, насыпной плотностью 0,03 – 0,05 г/см³. Доля примесей до очистки около 5 %, после очистки около 1%.

Одним из наиболее перспективных направлений применения УНТ является создание нанокomпозиционных материалов, содержащих модифицированную нанотрубками полимерную матрицу, а нередко и аппретированный наноматериалом наполнитель.

В качестве основной выпускной формы модифицированных материалов нами выбраны концентраты УНТ в олигомерах, разбавителях, пластификаторах, используемых для получения полимерных нанокomпозитов. При этом концентраты представлены жидкими дисперсиями, пастами или твердыми продуктами (порошки, гранулы). При этом перечень используемых модифицируемых полимеров включает как реактопласты (например, неотвержденные эпоксидные смолы), так и термопласты (полисульфон, полиэтилен).

При получении модифицированных составов приходится сталкиваться с двумя проблемами: разрушение агломератов УНТ и предупреждение процесса их седиментации. Для решения этих задач используем следующие способы. Первый из них – совершенствование структуры и свойств УНТ. В развитие работ по синтезу УНТ широким фронтом проводятся исследования по активации катализаторов. Путем обработки катализаторов ультразвуком, переменным магнитным полем и СВЧ удается поднять выход нанотрубок на 30-90%. Изменяются и свойства УНТ. Так, “Таунит-М” и “Таунит-МД” имеют очень малую кажущуюся объемную плотность, что указывает на относительно небольшую агрегируемость нанотрубок. Такой материал легче распределяется в полимерных матрицах.

Второй путь улучшения диспергирования – обработка дисперсий различными способами: на мельницах – планетарной, трехвалковой на основе деформации сдвига, установке переменного магнитного поля, ультразвуковой установке и СВЧ.

Хорошие результаты дает функционализация УНТ. В настоящее время разработаны методики получения УНТ с карбоксильными, бензоильными, гидроксильными группами. Проводятся работы по функционализации УНТ эпоксисоединениями и аминами. Немаловажную роль играют свойства среды, особенно такие, как вязкость и плотность.

Образцы полученных нами концентратов испытаны на ряде предприятий. Прочностные характеристики эпоксидных клеев и связующих для стекло- и углепластиков возрастают на 20-30%.

Таким образом ООО “НаноТехЦентр” может предоставлять заинтересованным организациям в необходимых объемах сухие порошки УНТ, дисперсии и концентраты в воде и органических средах. Наибольший успех достигается при тесном сотрудничестве с разработчиками композиций, что позволяет реализовать различные варианты модификации как состава в целом, так и отдельных его компонентов или их смесей.

ВЛИЯНИЕ НАНОПОРОШКОВ НА КИНЕТИКУ ОТВЕРЖДЕНИЯ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭПОКСИСТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Н.С.Обухова, Л.В.Райлян, Е.Р.Лепикаш

(ФГУП “ОНПП “Технология”, г. Обнинск, Россия)

Введение наноструктур в полимерные композиционные материалы является одним из перспективных направлений в области улучшения технологических и эксплуатационных характеристик.

В настоящей работе было исследовано влияние наночастиц на многокомпонентное термореактивное связующее ЭНФБ и стеклопрепреги на его основе. В качестве наномодификаторов использовались: трепел, содержащий более 87% кремнекислоты, и радиационно-модифицированный фторопласт Ф-4 (30-50 нм).

Была проведена оценка влияния типа и количества нанонаполнителей на кинетику отверждения исследуемых материалов, а также на их динамические и статические механические, диэлектрические свойства.

Кинетические кривые, полученные методом ДСК, показывают, что у связующего с добавками тепловой эффект реакции $Q_{св}$ несколько ниже, чем у исходного (рис.1).

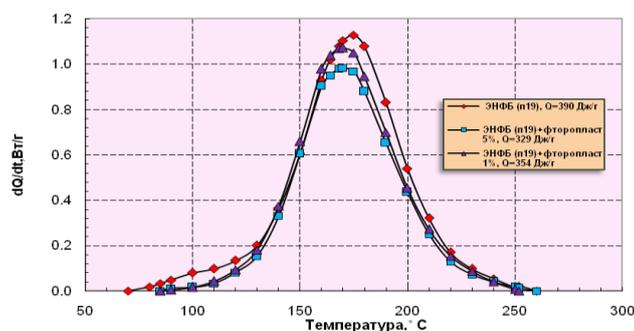


Рис. 1. Влияние содержания нанонаполнителя (фторопласт) на зависимость скорости тепловыделений от температуры связующего ЭНФБ

При этом более ощутимое снижение указанных характеристик наблюдается при введении фторопласта (на 15 %). Также было выявлено, что введение нанодобавок обоих видов приводит к смещению температур максимальной скорости отверждения в область более низких температур на 5-10°C. Вместе с тем экспериментально установлено, что в стеклопрепреге с наномодифицированным связующим происходит значительное увеличение теплового эффекта реакции отверждения $Q_{пр}$ (рис.2).

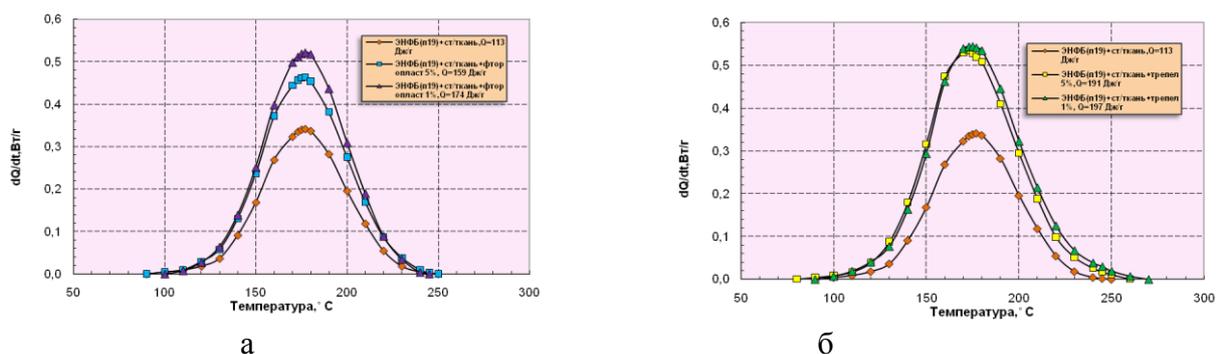


Рис. 2. Влияние содержания нанонаполнителей на зависимость скорости тепловыделений от температуры стеклопрепрега: а – фторопласт; б – трепел

При этом кинетические кривые отверждающегося препрега с добавкой трепела разной концентрации достаточно близки (б), а при введении фторопласта (а) ход кинетических кривых более существенно зависит от количества нанопорошка.

Известно, что тепловой эффект реакции отверждения связующего в препреге пропорционален его объемному содержанию в этом полуфабрикате. Однако, как показывают полученные экспериментальные данные, в случае отверждения препрегов с наномодифицирующими добавками в связующем отношении $Q_{пр}/Q_{св}$ превышает аналогичное отношение для немодифицированного связующего в 1,5-1,7 раз при практически равном содержании связующего в препрегах, что свидетельствует об образовании большего количества связей в ходе реакции отверждения.

Проведенный динамический механический анализ показал увеличение модуля упругости исследованных материалов по сравнению с исходным стеклопластиком практически в 1,7-1,8 раз (рис. 3), кроме образцов с содержанием трепела 5%.

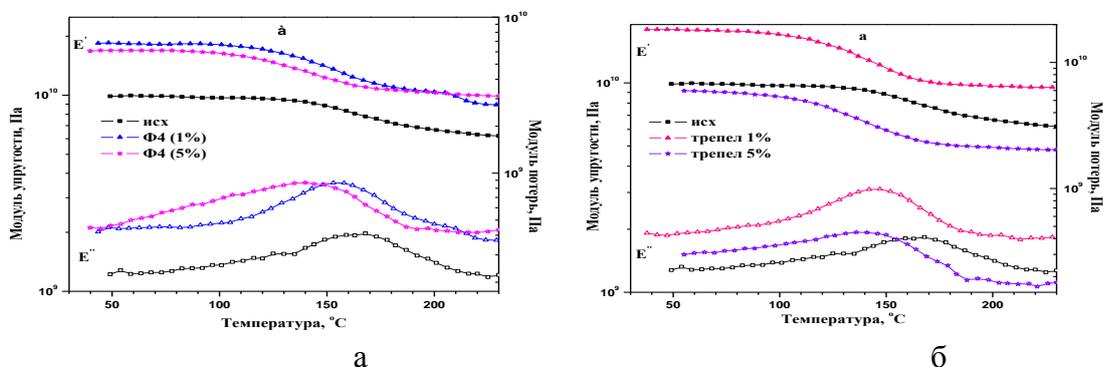


Рис. 3. Зависимость модуля упругости (E') и модуля потерь (E'') стеклопластиков, содержащих нанодобавки, от температуры при частоте 10 Гц: а – фторопласт; б – трепел

Обе нанодобавки вызывают смещение температур стеклования полимерного материала в область более низких температур на 15-20°C.

Кроме того, была проведена оценка предела прочности при статическом изгибе для стеклопластиков, содержащих нанодобавки, которая показала увеличение предела прочности на 15-23% по сравнению с прочностью немодифицированного стеклопластика.

При определении диэлектрических свойств материала установлено, что значения как диэлектрической проницаемости ϵ , так и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ увеличились (особенно при введении порошка фторопласта 1%, соответственно ϵ – на 7%, а $\text{tg}\delta$ – более чем на 50%). Однако в целом можно отметить, что полученный уровень диэлектрических характеристик модифицированных стеклопластиков $\epsilon = 4,21-4,53$ и $\text{tg}\delta = 0,014-0,029$ соответствует показателям хороших диэлектриков.

Таким образом, полученные экспериментальные данные показывают, что природа и количество вводимых нанопорошков оказывают существенное влияние на кинетику отверждения связующего ЭНФБ, особенно в составе препрегов на основе стеклоткани Т-10. Значительное повышение значений динамического модуля упругости при изгибе (в 1,7-1,8 раз), а также увеличение более чем на 20% статической прочности при изгибе, косвенно свидетельствуют об образовании сетчатой структуры связующего с большим количеством межмолекулярных химических связей. Вместе с тем, некоторое снижение плотности и температуры стеклования, а также увеличение тангенсов углов диэлектрических и механических потерь наномодифицированных образцов может быть связано с уменьшением молекулярной массы образующегося полимера и повышением пористости композита.

Для направленного регулирования физико-механических свойств наномодифицированных композитов дальнейшие исследования целесообразно направить на изучение механизмов их упрочнения при введении нанодобавок различной химической природы.

СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫЙ СОТОВЫЙ ЗАПОЛНИТЕЛЬ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДНЫХ СВЯЗУЮЩИХ

Е.В.Денисова, Е.И.Юдаева, В.С.Волков, С.В.Ворвуль, Г.С.Шуль, Н.В.Выморков
(ФГУП “ОНИИ “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Современная авиационная и ракетная техника испытывает острую потребность в пластических материалах, способных работать при температурах 250°C и выше. Стеклопластиковые сотовые наполнители или стеклосотопласты (ССП), выпускаемые в настоящее время на основе фенолоформальдегидного связующего, работоспособны до 160°C, что ограничивает область их применения. В этой связи разработка стеклопластиковых сотовых наполнителей на основе полиимидных связующих является весьма перспективной в создании термостойких материалов.

Существующие за рубежом полиимидные соты и разработанный нами ранее стеклосотопласт марки ССП-7-8Т (ТУ 1-596- 466 -2009) на основе связующего СП-97с сочетают в себе высокую теплостойкость, негорючесть, прочность и стабильность характеристик при испытании при разных температурах. Однако применение этих материалов затруднено из-за высокой температуры их переработки.

С целью повышения технологичности изготовления термостойкого стеклосотопласта было опробовано связующее СП-97к, обеспечивающее снижение температуры отверждения пропитанных сотоблоков.

Методом динамического механического анализа (ДМА) исследовали влияние режимов отверждения образцов полиимидных стеклопластиков на их механические характеристики при динамических нагрузках. Образцы стеклопластика на основе связующего СП-97к были получены методом прессования при различной максимальной температуре отверждения: 170°C, 190°C, 220°C и 280°C, время выдержки на максимальной температуре отверждения – два часа. Испытания проводили на вискоанализаторе VA4000 фирмы “Metravib”, Франция, на трехточечный изгиб. Установлено, что увеличение температуры отверждения приводит к возрастанию температуры стеклования исследуемого стеклопластика до 310°C, повышению модуля упругости и снижению модуля потерь.

Одновременно проводили статические механические испытания стеклосотопластов. Исследовали влияние режимов отверждения на прочностные характеристики стеклосотопласта марки ССП-7к-8Т. Установлено, что увеличение максимума температуры отверждения до 250°C приводит к повышению предела прочности при сжатии образцов ССП-7к-8Т, однако, дальнейшее повышение температуры отверждения до 280 и 350°C приводит к снижению предела прочности стеклосотопласта ССП-7к-8Т.

Учитывая высокую термостабильность образцов сотопласта ССП-7к-8Т после отверждения при температуре до 220°C и трудности по технологическому обеспечению более высоких температур отверждения в условиях производства, можно рекомендовать отверждение стеклосотопласта ССП-7к-8Т по режиму с максимальной температурой до 220°C.

Опробование на горючесть стеклосотопласта марки ССП-7-8Т показало, что он имеет минимальное дымовыделение, относится к классу “трудногорающих” (не горит и не тлеет после удаления пламени), что очень важно с точки зрения обеспечения пожарной безопасности пассажирских самолетов и вертолетов.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ БЛОКОВ СОТОПЛАСТОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛОТКАНЕЙ

А.М.Крюков, В.С.Волков, Н.А.Садилова, Е.В.Денисова, Г.С.Шуль
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В представленной работе рассмотрены некоторые особенности основных стадий технологии изготовления крупногабаритных блоков стеклопластикового сотового заполнителя на основе фенолоформальдегидного связующего и различных стеклотканей (размер граней ячеек: 2,5; 3,5; 4,2 мм).

Технология изготовления стеклосотопласта (ССП) включает в себя следующие операции: нанесение клеевых полос на стеклоткань, её раскрой, сборка сотопакетов, их прессование, растягивание сотопакетов в блоки, пропитка блоков связующим, их отверждение.

Одной из основных стадий рассматриваемой технологии является склеивание по клеевым полосам листов стеклоткани в сотопакет для последующего образования сотоячеек. На этой стадии есть вероятность существования недоотверждённых клеевых полос из фенолоформальдегидного клея БФ-2. В процессе разработки технологии эта проблема решается путём двустадийного формования. При этом первую стадию, включающую в себя склеивание слоёв стеклоткани между собой в сотопакетах и последующее отверждение клеевых полос, проводили в прессе с обогреваемыми плитами, а вторую – в термостате при термообработке пакета, который находится в свободно подвешенном состоянии.

Такое формование позволяет повысить прочность соединений по клеевым полосам и обеспечивает минимум вероятности разрыва сотоблоков при растягивании пакета, пропитке, воздушной и температурной сушках и термоотверждении.

Следует отметить, что при изготовлении стеклосот (марки ССП-1-2,5-А-5 и ССП-1-2,5-А-4) для обеспечения качественного склеивания стеклоткань (толщиной 30-41 мкм) по клеевым полосам для исключения проникновения клея сквозь слои тонкой стеклоткани было внедрено склеивание пакетов под вакуумом вместо прямого прессования.

Экспериментально установлено, что наиболее оптимальной является двукратная пропитка сотоблоков раствором связующего определённой вязкости. Однократная пропитка связующим более высокой вязкости приводит к большому разбросу свойств ССП по высоте блоков, а трехкратная пропитка связующим меньшей вязкости – к получению ССП с завышенными показателями плотности.

Большое значение для оптимизации технологических режимов изготовления ССП имеет изучение процесса воздушной сушки сотоблоков после пропитки связующим. С целью обеспечения равномерности распределения связующего по объёму сотоблока, сокращения его цикла получения и минимизирования влияния растворителя связующего на клеевые полосы была использована интенсивная сушка блоков на воздухе, которая осуществлялась при продувке каналов ячеек ССП направленным потоком воздуха в специальных коробах, подключенных к вытяжной вентиляции. В результате этого повысилась равномерность распределения

связующего на стенках сот, длительность операции сушки уменьшилась в 10 раз и на 20% сократился общий цикл изготовления ССП.

Приведены экспериментальные результаты по влиянию режимов термообработки пропитанных сотоблоков на предел прочности при сжатии и температуру стеклования. Определён оптимальный режим термообработки.

Несмотря на широкую номенклатуру уже выпускаемых нами стеклосотопластов, постоянно ведутся работы по усовершенствованию технологии, сырьевых материалов, увеличению габаритов ССП. Наша продукция востребована при создании самолетов Ту-204, Ту-334, SSJ-100, Су-30МК и Су-35. Разработанная технология изготовления ССП защищена 5 патентами РФ на изобретение.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫСОКОМОДУЛЬНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

А.Г.Попов, О.Л.Петрова (ФГУП «ОНПП «Технология», г.Обнинск, Россия)

Экспериментальные методы определения прочностных и упругих характеристик полимерных композиционных материалов (ПКМ), в том числе углепластиков, являются основой паспортизации новых материалов. Экспериментальные методы позволяют определять степень реализации механических характеристик материала для принятия проекторочных решений на стадии отработки конструкции и технологии изготовления изделий из ПКМ. Наконец, механические испытания образцов используются при аттестации качества технологии изготовления в процессе производства конструкций из армированных пластиков.

Следует отметить, что к проведению испытаний образцов из ПКМ, особенно из высоко модульных армированных материалов, таких, как углепластики, имеющих высокую степень анизотропии свойств, подверженных влиянию межслойных напряжений и повышенной чувствительности к концентраторам напряжений, предъявляются особенно высокие требования, суть которых заключается в тщательном подходе к вопросам выбора геометрии образца, способа приложения несущей нагрузки на образец, технологии изготовления образцов.

Процессы глобализации и выход российских предприятий на мировой рынок требуют одинаковых методических подходов, в том числе, и к процессу прочностных испытаний. Следует отметить, что на сегодняшний день отечественные и зарубежные регламентирующие стандарты (ГОСТ, ASTM, ISO) в ряде случаев допускают существенные различия в методических подходах и не всегда могут быть применимы в практике прочностных испытаний.

В работе проведен расчетный анализ напряженно-деформированного состояния углепластиковых образцов при осевом растяжении и сдвиге в плоскости листа с использованием MSC Nastran. Проведена оценка повышенных напряжений в зоне перехода рабочей части образца в захватную часть (рис.).

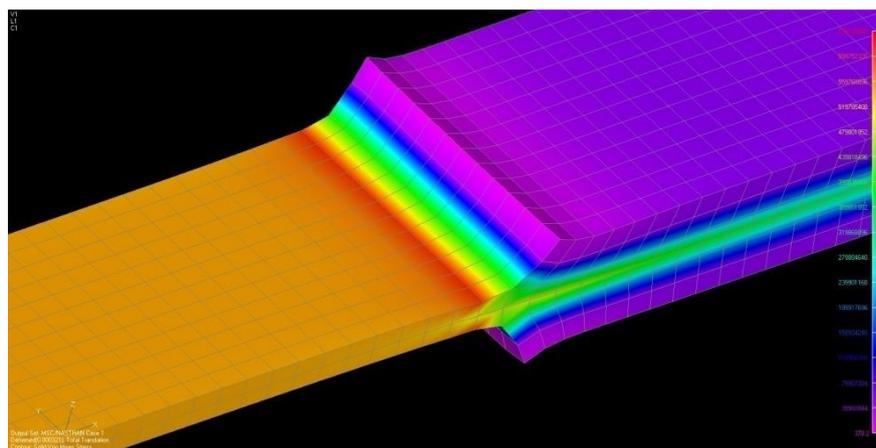


Рис. Распределение НДС в образце в виде полоски с накладками

Получены результаты прочностных и упругих характеристик углепластика на основе проведенных испытаний образцов по различным стандартам. Показано влияние выбора способов нагружения, геометрии образца и других факторов на реализацию прочностных и упругих свойств углепластика.

ОЦЕНКА РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЕПЛАСТИКА ПРИ СДВИГЕ В ПЛОСКОСТИ ЛИСТА

А.Г.Попов, Н.В.Матюшевский, Д.И.Савельев
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Методы экспериментального определения свойств композиционных материалов при сдвиге в отличие от испытаний на осевое растяжение и сжатие более разнообразны как по схемам нагружения, так и по форме применяемых образцов.

Основной целью при проведении испытаний армированных пластиков на сдвиг является обеспечение в рабочей части образца состояния чистого сдвига. Следует отметить, что в образцах из высокомодульных композиционных материалов, таких, как углепластики могут возникнуть определенные трудности создания равномерного напряженно-деформированного состояния, связанные с повышенной степенью анизотропии и неоднородности исследуемого материала. Особенно ярко это проявляется при проведении испытаний толстостенных углепластиковых образцов.

И, хотя в настоящее время существует ряд отечественных и зарубежных стандартов испытаний образцов из композиционных материалов при сдвиге, единого подхода к выбору метода экспериментального определения сдвиговых характеристик не существует. Все известные методы испытаний на сдвиг отличаются, в основном, способом и степенью минимизации “побочных” деформаций и напряжений, вследствие чего всем методам свойственны некоторые ограничения.

Более того, выбор метода испытаний (стандарта), вида испытательной оснастки и размеров образцов во многом зависят от цели испытаний: определение упругих характеристик или прочности при сдвиге, а также может варьироваться для образцов различной толщины. При испытаниях углепластиковых образцов толщиной больше 3 мм возникают проблемы, связанные с повышенным влиянием зон краевых эффектов, степени неравномерности распределения НДС в рабочей зоне образца, что, в свою очередь, требует усовершенствования и видоизменения узлов крепления и нагружения приспособлений для испытаний. Таким образом, при проведении

испытаний образцов из углепластиков при сдвиге в плоскости листа даже с использованием стандартов необходима тщательная проработка возможности и обоснованности применения этого метода для данного типа материала, схемы армирования и толщины композиционного пакета.

С этой целью в работе проведен расчетный анализ напряженно-деформированного состояния образцов с использованием MSC Nastran при сдвиге в плоскости листа методами перекашивания полосы) и V-образной канавки. Выявлены зоны повышенных концентраций сдвиговых напряжений и предложены варианты снижения этих напряжений в зоне перехода рабочей части образца в захватную часть. Расчетный анализ проводился для образцов, геометрические размеры которых определялись как отечественными стандартами (ГОСТ), так и стандартами США (ASTM).

Проведены испытания на сдвиг в плоскости листа образцов из углепластика на основе клеевого препрега толщиной от 1 до 9 мм. Получены экспериментальные значения прочностных и упругих характеристик различных углепластиков при сдвиге в плоскости листа на основе проведенных испытаний образцов, которые были изготовлены в соответствии с требованиями различных стандартов и предлагаемых альтернативных вариантов геометрических размеров образцов, подобранных моделированием в MSC Nastran. Показано, что результаты экспериментального определения прочности и модуля при сдвиге зависят от выбранного метода испытаний и толщины образца. В процессе испытаний установлено, что в ряде случаев разрушение стандартных образцов происходит не только в рабочей зоне образца, а и в торцевых частях под накладками.

НЕУПРУГАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРИ СЖАТИИ ТКАНИ

К.А.Горелый, Е.В.Малютин, В.М.Сахоненко
(ОАО “Авангард”, г.Сафоново, Россия)

Рассматривается задача об установлении неупругой составляющей сжатия ткани, которое осуществляется в ее плоскости. Отметим, что ввиду абсолютной гибкости нитей сжатие в обычном смысле в направлении нитей невозможно, так как оно приводит к потере устойчивости каркаса ткани. Существует и другой вид сжатия. Силы, осуществляющие такое сжатие, лежат в касательной плоскости к ткани и направлены поперек нитей. Такое сжатие может происходить, например, при изгибе цилиндрической оболочки в торцовую, если эта оболочка находится в состоянии препрега, т.е. когда связующее еще не заполимеризовано. В результате армирующий материал такой оболочки имеет возможность сдвигаться на конечное расстояние без разрыва. Другим примером является сжатие, которое происходит при параллельном сдвиге нитей одного семейства относительно второго.

В условиях поставленной задачи о сжатии армирующего материала само сжатие осуществляется следующим образом. Происходят геометрические изменения параметров сечения нитей до установления тех размеров, которые обеспечивают целостность ее формы независимо от величины приложенной внешней нагрузки. Одновременно происходит параллельный сдвиг нитей, уменьшая расстояние между ними. Таким образом, рассматриваемое сжатие можно трактовать как процесс, осуществление которого происходит в два этапа. На первом “недоуплотненная” нить получает “нормальное уплотнение”. В этом случае сечение нити уменьшается за счет более компактного расположения в сечении элементарных нитей. Второй этап сжатия характеризуется только упругими деформациями. В какой-то мере упругий этап сжатия семейства нитей похож на сжатие упругого твердого тела. На этом основании можно руководствоваться построением линейных зависимостей между деформациями и напряжениями

$$\Delta W = \gamma + \gamma_1 P, \quad (1)$$

где: γ и γ_1 – некоторые постоянные, причем γ отвечает за неупругое сжатие, а γ_1 – за упругое;

ΔW – деформация; P – нагрузка.

Для определения относительного неупругого сжатия разработан прибор, который представляет собой четырехзвенник в виде ромба. Образец ткани в виде ромба со сторонами, параллельными семействам нитей, защемляется по сторонам четырехзвенника. Нагрузка прикладывается к противоположным углам четырехзвенника. При испытаниях образец удлиняется в направлении действия силы и укорачивается в перпендикулярном направлении, оставаясь все время ромбом. В результате уменьшается расстояние между параллельными сторонами ромба, что приводит к сжатию семейств нитей. Это говорит о том, что предложенные испытания позволяют оценить степень сжатия семейств нитей, причем относительная неупругая деформация будет равна

$$\gamma_0 = \frac{\gamma}{a}, \quad (2)$$

где a - длина диагонали ромба.

Предположение о линейной зависимости между нагрузкой и деформациями говорит о том, что результаты испытаний должны подчиняться закону (1). В таком случае предполагая, что $\Delta W = \gamma$, установлены следующие геометрические зависимости:

$$\gamma_0 = 2 \frac{\sin 2\varphi - \sin 2\varphi_0}{\sin 2\varphi_0},$$
$$2(a \cos \varphi_0 - a \sin \varphi) = \gamma,$$

где: $2\varphi_0$ – угол между семействами нитей у образца до испытаний; 2φ – угол между семействами нитей у образца в результате деформации при испытаниях; a – длина стороны ромба у образца; γ – неупругое удлинение образца, установленное по результатам испытания; γ_0 – относительная деформация при сжатии образца ткани в направлении перпендикулярном к линии действия нагрузки.

В результате решения предыдущей системы получим

$$\gamma_0 = 2 \frac{\sin \left[2 \arccos \left(\varphi_0 - \frac{\gamma}{2a} \right) \right] - \sin 2\varphi_0}{\sin 2\varphi_0}. \quad (3)$$

Вывод. Получен способ нахождения неупругой составляющей сжатия для тканей. Найдена зависимость между неупругой составляющей сжатия и результатами испытания ткани.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ, ОБРАБОТКИ И ХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Г.П.Стариковский, М.В.Кобзев, П.Б.Жовнер, А.И.Амосов
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

ФГУП “ОНПП “Технология” является одним из ведущих предприятий авиакосмической отрасли страны по разработке технологии и изготовлению крупногабаритных изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Составляющими технологического процесса изготовления изделий из ПКМ являются неразрушающий контроль (НК) сплошности материала конструкции и контроль толщины.

В связи с большой номенклатурой изготавливаемых изделий, имеющих различные размеры, формы и конструктивные особенности, полностью автоматизировать процесс НК не представляется возможным. Поэтому этот процесс производится в ручном режиме.

В настоящей работе рассматриваются вопросы автоматизации операций сбора и обработки результатов НК, произведенного в ручном режиме, с последующим оформлением выходных

документов (схем и протоколов) и хранением этих результатов в электронном виде. Для этого в ОНПП “Технология” разработана и запущена в эксплуатацию автоматизированная система неразрушающего контроля (АСНК), состоящая из двух самостоятельных блоков: подсистемы дефектоскопии (АСД) и подсистемы толщинометрии (АСТ). Каждая из подсистем состоит из трех модулей: модуля редактирования шаблонов, модуля ввода данных и модуля управления данными. Подробное описание структуры АСНК приведено в трудах международной конференции “Перспективы использования новых технологий и научно-технических решений в ракетно-космической и авиационной промышленности”, Москва, 2008 год.

Подсистема АСД запускает модуль управления и редактирования шаблонами, с помощью которого оператором формируется вся необходимая информация об изделии (чертеж или развертка, требования ТУ, требования чертежа, начало отсчета координат и т.п.). После этого запускается модуль ввода и редактирования данных НК, с помощью которого производится ввод контуров дефектов по измеренным координатам, формирование схемы расположения дефектов. Контуров дефектов вводятся с помощью графического планшета с бумажного носителя.

Подсистема АСТ запускает модуль редактирования шаблонов, с помощью которого формируется необходимая информация об изделии и схеме контроля (чертеж или развертка, схема контроля, начало отсчета толщин, требования КД по толщине, формы выходных документов и т.п.). После чего запускается модуль управления данными, с помощью которого производится ввод массива значений толщины, рассчитываются необходимые значения и формируется схема контроля и протокол. Формирование массива данных производится с помощью цифрового толщиномера и накопителя данных (трансмиссивтер или ноутбук).

После завершения работы каждой из подсистем все данные НК, схемы контроля и протоколы сохраняются в базе данных.

Использование АСНК позволило получить следующие результаты:

- уменьшить трудоемкость НК на 12-15% за счет уменьшения времени на проведение расчетов, подготовки и оформления выходных результатов;
- повысить достоверность и точность результатов НК;
- получить возможность систематизации и оперативного анализа результатов НК для оптимизации конструкции и процесса изготовления изделия.

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г.П.Стариковский, А.А.Курятин (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия), **А.А.Карабутов** (Международный лазерный центр МГУ им. М.В. Ломоносова, г.Москва, Россия)

Рассматриваются вопросы неразрушающего контроля (НК) интегральных конструкций, выполненных из полимерных композиционных материалов (ПКМ). Вопросы НК касаются класса интегральных конструкций из слоистых углепластиков, представляющих собой совокупность монолитных (из углепластика) и трехслойных зон с сотовым наполнителем и обшивками из углепластика.

Опыт контроля такого рода конструкций показал, что основные проблемы возникают при НК монолитных зон изделий. Именно в них было обнаружено около 90% от общего числа обнаруженных в таких интегральных конструкциях дефектов.

В процессе методической отработки НК монолитных зон был выбран ультразвуковой эхо-импульсный метод с использованием прямых совмещенных преобразователей, снабженных акустической задержкой. При этом было установлено, что преобразователи, серийно изготавливаемые отечественными предприятиями по производству акустического оборудования, не соответствуют требованиям достоверности контроля, т.е. допускают наличие “мертвых” зон по глубине зондирования. Для обеспечения требуемой достоверности потребовалась разработка

преобразователей с длительностью акустического импульса не более 1,2 мкс. Кроме того, для обеспечения требуемой чувствительности 0,5 см² сформулированы требования к рабочим стандартным образцам и контрольным отражателям, обеспечивающие настройку дефектоскопов с заданной чувствительностью контроля.

Анализ характера нарушений сплошности, обнаруженных при НК монолитных зон такого рода конструкций показал, что все дефекты можно объединить в три группы: расслоения (межслоевые трещины), зоны повышенного затухания ультразвукового сигнала (более 6дБ) и инородные включения. Под включением понимается наличие в массиве ПКМ инородных тел в виде технологических пленок или образований (сгустков) компонентов полимерного связующего.

Для принятия правильного решения об использовании изделия, имеющего дефекты, необходимо обладать информацией о характере каждого дефекта. Для решения вопросов о выборе методов и средств для классификации дефектов в слоистом ПКМ была проведена работа по определению причин появления зон повышенного затухания ультразвукового сигнала и способа надежного определения расслоений и включений. Было установлено, что причиной повышенного затухания сигнала является повышенное содержание малых (менее 0,5 мм) нарушений сплошности композиционного материала. Кроме того, предложена методика определения включений с использованием ультразвукового лазерного дефектоскопа УДЛ-2М.

В результате проведенных экспериментальных работ разработана методика неразрушающего контроля сплошности материала монолитных зон интегральных конструкций, позволяющая не только выявлять, но и классифицировать обнаруженные дефекты.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ БЕСКОНТАКТНЫЙ КОНТРОЛЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПКМ

Н.В.Мухин, Г.П.Стариковский, В.Г.Иванов, А.А.Курятин (ФГУП “НПП “Технология”, г.Обнинск, Россия), *А.С.Богачёв* (НПП “Кропус”, г.Ногинск, МО, Россия)

При ультразвуковом (УЗ) контроле изделий из полимерных композиционных материалов (ПКМ) использование иммерсионной водной среды недопустимо по причине высокой пористости высокомодульных композитов и большого набора влаги после погружения изделия в иммерсионную жидкость. В качестве альтернативы в таких случаях может применяться контроль с сухим контактом с использованием катящихся преобразователей. Однако этот контроль имеет ряд ограничений.

Поэтому в последние годы внимание привлекают бесконтактные методы, когда ультразвук вводится в контролируемое изделие через воздух.

В 2009-2010гг. нами были проведены эксперименты по автоматизированному контролю изделий из ПКМ с бесконтактными низкочастотными (40 кГц) и высокочастотными (500 кГц) пьезоэлектрическими преобразователями (ПЭП) в теневом режиме.

В докладе рассматриваются автоматизированная установка ультразвукового контроля (АУУЗК), с помощью которой были проведены эти эксперименты, описывается тестируемый контрольный образец из углепластика с искусственно заложенными дефектами типа расслоений, непроклеев, инородных включений и других. Приводятся результаты контроля этого образца в виде псевдоцветных С-разверток, полученных на частотах прозвучивания 40 кГц и 500 кГц.

При контроле на низкой УЗ частоте 40 кГц уверенно выявляются только два вида дефектов: непроклеи и расслоения.

При контроле на высокой УЗ частоте 500 кГц выявляются уже все искусственные дефекты, заложенные в контрольный образец, хотя степень затухания прошедшего УЗ сигнала различна для разных дефектов. Минимальная площадь выявляемых дефектов 1 мм², раскрытие – 0,05 мм.

Наибольшее затухание УЗ сигнала наблюдается на расслоениях, непроклеях и инородных включениях. На этих дефектах амплитуда прошедшего УЗ сигнала падает до 2 % шкалы

дефектоскопа.

Точечная склейка имитировалась введением местами антиадгезионной смазки. Точечная склейка между окантовкой и слоем клея вызывает меньшее ослабление ультразвука (амплитуда сигнала падает всего до диапазона 20 - 25 % шкалы дефектоскопа), чем точечная склейка между наружной обшивкой и слоем клея. Точечная склейка между наружной обшивкой и слоем клея вызывает почти такое же ослабление УЗ сигнала, как и расслоения, непроклеи или инородные включения (амплитуда сигнала падает до 2 - 20 % шкалы дефектоскопа).

Антиадгезионная смазка между окантовкой и слоем клея и смазка между наружной обшивкой и слоем клея вызывают ослабление ультразвука, обратное точечной склейке. А именно, смазка между окантовкой и слоем клея вызывает большее ослабление ультразвука (амплитуда сигнала падает до 2 % шкалы дефектоскопа), чем смазка между наружной обшивкой и слоем клея, на которой амплитуда сигнала падает до 13 - 20 % шкалы дефектоскопа.

Наличие в образце зон с увеличенной толщиной клеевого слоя не приводит к изменению УЗ сигнала сравнительно с бездефектной зоной образца. Зарегистрировано некоторое падение сигнала на границах таких зон.

В результате проведенных экспериментов мы получили возможность бесконтактного УЗ контроля изделий из ПКМ на низких и высоких частотах в теневом режиме.

Допустимые габариты контролируемых изделий из ПКМ не более $20 \times 2000 \times 5500$ мм.

Возможен контроль изделий только с радиусом кривизны $R > 300$ мм.

При контроле низкочастотными ПЭП 40 кГц наблюдается негативный эффект обтекания УЗ волной краёв изделия, что не позволяет выявлять дефекты в этих областях. Для устранения этого эффекта используются высокочастотные бесконтактные ПЭП 500 кГц.

В заключение отметим, что результаты УЗ теневого контроля, полученные бесконтактным способом на частоте 500 кГц, полностью совпадают с данными, полученными при теневом контроле этого же контрольного образца (ПЭП Krautkramer с частотой 10 МГц) с контактом через водную среду, когда контрольный образец полностью погружался в иммерсионную ванну.

Таким образом, бесконтактный ультразвуковой теневой метод может быть использован для контроля натуральных изделий из ПКМ.

ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.М.Ордынцев (ООО “НТИЦ АпАТЭК-Дубна”, г.Дубна, МО, Россия)

Тензометрическая система мониторинга силовых конструкций из композиционных материалов была разработана в рамках проекта установки волноотбойной стены на участке железной дороги Туапсе – Шепси. Со стороны моря на стены воздействует песчано-галичная эрозия и волны Черного моря силой до восьми баллов. С обратной стороны на стену воздействует грунт откоса железнодорожной насыпи.

Для измерения этого воздействия, была разработана система измерения нагруженности анкерных тяг волноотбойной стены.

На основании теоретических расчетов о нагруженности анкерных тяг волноотбойной стены в качестве датчиков были выбраны тензорезисторы с базой 30 мм и точностью 1%. В качестве прибора для съема данных был выбран одноканальный измерительный прибор, предназначенный для передачи измеренных сигналов с тензорезисторов непосредственно в персональный компьютер через USB интерфейс. Выбранный прибор позволяет измерять деформации от 1000 до 100000 мк/м.

Была разработана схема наклейки и защиты тензорезисторов, защиты проводов и коммутационных коробок от воздействия грунта.

Была проведена калибровка тензорезисторов наклеенных на анкерные тяги.

Анкерные тяги с тензорезисторами были установлены на волноотбойную стену. Провода от тензорезисторов были выведены в коммутационные коробки на верхнем крае панелей волноотбойной стены.

С помощью измерительного прибора был проведен опрос тензорезисторов. Полученные данные были сохранены в компьютере.

Была разработана программа обработки полученных данных, на базе Microsoft Excel.

Данные были обработаны и получены нагруженность и напряжение от изгибающего момента, действующие на анкерные тяги волноотбойной стены.

В результате данной работы в течение 2009-го года производилось измерение воздействия на волноотбойную стену. Были получены реальные данные о нагрузке, действующей на волноотбойную стену.

Сравнение нагруженности анкеров в эксплуатации с несущей способностью анкеров, принятой по расчёту и полученной экспериментально, позволило скорректировать расчётную модель, принятую при проектировании данной конструкции волноотбойной стены.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА АТТЕСТАЦИИ СВЯЗУЮЩЕГО ЭНФБ С ПРИМЕНЕНИЕМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ

Н.Г.Лисаченко, О.Л.Петрова, А.Г.Попов (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В настоящее время повышение качества выпускаемой продукции является важнейшей задачей российских предприятий. Все возрастающая конкуренция на внутреннем и мировом рынке приводит к необходимости активного освоения и внедрения систем менеджмента качества (СМК) на основе международных стандартов ISO 9000. Реализация принципов менеджмента качества на практике позволяет производить продукцию с прогнозируемыми свойствами путем создания управляемых условий реализации производственных процессов. Управление этими процессами с учетом требований СМК способствует повышению качества продукции за счет выявления дестабилизирующих факторов и последующей выработки предупреждающих действий.

Одним из основных инструментов управления качеством производственно-технологических процессов являются статистические методы. Необходимость их применения вызвана изменчивостью фактически всех процессов. Статистические методы используют при измерении, описании, анализе, интерпретации и моделировании изменчивости даже при наличии относительно ограниченного количества данных. Статистический анализ данных способствует лучшему пониманию характера, степени и причин изменчивости.

Объектом исследования является процесс аттестации связующего ЭНФБ. В этот процесс включены различные подразделения и участки нашего предприятия. Его заключительным этапом является определение прочности углепластика на основе данного связующего, при проведении испытаний на осевое сжатие образцов при повышенной температуре +150°C. В 2008 году 10 из 50 партий связующего не соответствовали техническим требованиям на связующее ЭНФБ. Этот факт потребовал анализа обоснованности метода оценки качества изготовления связующего. На основе полного массива данных, полученных в процессе испытаний при сжатии образцов из углепластика, проведен корреляционный анализ значений предела прочности при температурах +20°C и +150°C. Низкое значение коэффициента корреляции ($k = 0,22$) позволяет сделать вывод об отсутствии тесной линейной связи между исследуемыми величинами, что свидетельствует о существенном влиянии на результат свойств полимерной матрицы, а следовательно, о корректности и обоснованности метода оценки качества изготовления связующего ЭНФБ путем определения предела прочности при сжатии при температуре +150°C. Поиск причин несоответствия с использованием статистических методов контроля качества

выявил статистическую неуправляемость (нестабильность) процесса аттестации связующего ЭНФБ, следствием которой являлась непредсказуемость его результатов.

Согласно требованиям стандартов, регламентирующих вопросы качества, в первую очередь следует найти и устранить причины нестабильности рассматриваемого процесса. Для этого необходимо детальное изучение всех звеньев процесса с применением подходящих статистических методов, набор которых и особенности их применения также описываются международными стандартами и их отечественными аналогами.

В работе представлен анализ изменчивости, вносимой в процесс аттестации связующего на стадии проведения прочностных испытаний. В процессе анализа различных источников погрешностей было спланировано и проведено два дополнительных экспериментальных исследования:

- определение инструментальной и субъективной составляющих погрешности измерения геометрических размеров образцов;

- определение влияния температуры испытаний на предел прочности образцов при сжатии.

Оценена максимально возможная погрешность определения значения предела прочности. Для одного образца она составила $\sim 5,4\%$, а для среднего значения, рассчитанного по пяти образцам, $\sim 2,4\%$.

Установлено, что значение коэффициента вариации, превышающее $2,4\%$, обусловлено влиянием различных факторов, проявляющих себя на предыдущих этапах процесса (изготовление образцов, изготовление препрега и/или связующего ЭНФБ).

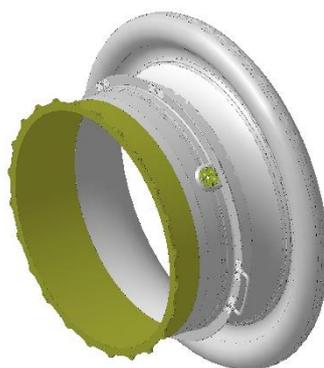
ВОЗДУХОЗАБОРНИКИ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАЗЕМНОЙ ОТРАБОТКИ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.В.Мерзляков, В.А.Никитюк, А.В.Паушов, М.А.Терешонков, А.И.Уфимцев
(ОАО “ЦНИИСМ”, г.Хотьково, МО, Россия)

ОАО “ЦНИИСМ” разработало и изготовило четыре вида воздухозаборников из композиционных материалов для наземной стендовой отработки двигателей Sam 146 и ПС-90А: для исследования работы различных условий эксплуатации, для исследований повреждаемости агрегатов при забросе посторонних предметов и оценки акустических характеристик. Воздухозаборники устанавливаются на передний фланец двигателя консольно, имеют места установки приборов и датчиков для контроля параметров потока и моделируют схему нагружения сборки штатным входным устройством мотогондолы. Комбинация в конструкциях входных устройств композиционных материалов и металлических элементов позволяет в задаваемых пределах управлять необходимой массой, а также прочностными и жесткостными характеристиками воздухозаборников.

При проектировании конструкций учитывалась прочность от действия избыточного давления при помпаже в газогенераторе, при действии пониженного давления при срыве потока в вентиляторе и дисбалансе, возникающем при обрыве лопатки, частотные параметры.

По форме воздухозаборники, как правило, состоят из цилиндрической части, с одного торца имеющей металлический фланец для стыковки с двигателем, с другого торца – переходящей в оболочку вращения сложной геометрической формы, с образующей в виде лемнискаты. Для повышения жесткости конструкции лемнискатная часть оболочки образует замкнутый пустотелый контур. Общий вид воздухозаборника приведен на рисунке.



Цилиндрическая часть воздухозаборника и промежуточные шпангоуты изготовлены методом намотки стеклотканой лентой на эпоксидном связующем с последующей механической обработкой для обеспечения переменной толщины. Лемнискатная часть воздухозаборника имеет переменную толщину и изготавливается методом выкладки в матрицу с последующей полимеризацией в термопечи с вакуумированием. Сборка цилиндрической и лемнискатной оболочек выполнены посредством клеевого соединения “на ус” в стапеле с последующим обжатием силовым поясом в зоне стыка. Переходные втулки для датчиков всех типов установлены с образованием клеємеханических соединений.

Использованные и реализованные конструктивно-технические решения при создании композитных воздухозаборников позволяют создавать аналогичные конструкции диаметром до четырех метров и неограниченной длиной.

БЫСТРООТВЕРЖДАЕМОЕ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЕ СВЯЗУЮЩЕЕ, ПЕРЕРАБАТЫВАЕМОЕ ПО “CRUSH CORE” ТЕХНОЛОГИИ, ДЛЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИНТЕРЬЕРА

Е.А.Серкова, Н.И.Швец, О.Б.Застрогина, В.И.Постнов, В.И.Петухов, Е.В.Вешкин, С.Л.Барботько (ФГУП “ВИАМ” ГНЦ РФ, г.Москва, Россия)

Изготовление панелей интерьера пассажирского самолета является длительным, энерго- и трудоёмким процессом. В условиях крупносерийного изготовления летательных аппаратов возникает необходимость в производстве большого количества деталей, узлов и агрегатов для обеспечения процесса сборки. Разработка и внедрение новейших материалов и технологий, в том числе при изготовлении трехслойных сотовых панелей для материалов интерьера, является важной и актуальной задачей.

“Crush core” технология является быстрым и экономичным процессом формования трехслойных сотовых панелей при умеренно высокой температуре 110 – 160°C, высоком давлении (до 20 атм.) и малом времени переработки 8 – 30 мин. Связующие, перерабатываемые по “crush core” технологии, должны иметь регулируемую вязкость, обеспечивающую прочное сцепление обшивок с сотовым наполнителем и исключаящую вытекание связующего. Образующаяся после формования матрица должна обеспечивать материалу характеристики по пожаробезопасности, отвечающие нормам FAR 25.

Фенольные смолы, полученные в начале 20 века, по своей сути основаны на огнестойких соединениях, в которых фенол (C_6H_5OH) является самой простой частью. Являясь органическими соединениями, они, несмотря на это, имеют высочайшую стойкость к нагреву и пламени. Благодаря этому фенольные смолы превосходят полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные смолы в области контроля горения, выделения дыма и токсичности, и далеко превосходят требования ASTM.

Разработанные в ВИАМ фенолформальдегидные связующие РС-Н и РС-Н-М отверждаются при температуре 90 – 140°C и обеспечивают получение пожаробезопасных

материалов интерьера пассажирских самолетов: стеклотекстолита ВПС-39П, микросферотекстолита, полимерных заполнителей–сфероластов ВПЗ-16, ВПЗ-16М, ВПЗ-16МП и трехслойных сотовых панелей на их основе.

С целью увеличения скорости отверждения фенолформальдегидного связующего РС-Н, не содержащего фосфорорганических антипиренов типа фосдиол и фосполиол, для переработки по “crush core” технологии была проведена его модификация. Быстроотверждаемое связующее представляет собой однородный раствор коричневого цвета (65 – 75) %-ной концентрации, время гелеобразования при температуре 130°С – 4 – 6 мин., условная вязкость по вискозиметру ВЗ-246 – 10 – 60 с.

Оптимизация режима отверждения быстроотверждаемого фенолформальдегидного связующего проводилась на основании результатов исследования влияния условий отверждения на физико-механические свойства стеклотекстолита и трехслойной сотовой панели на его основе. Оптимальным режимом отверждения фенолформальдегидного связующего, максимально приближенным к температурно-временным параметрам технологии “crush core”, является выдержка в течение 20 мин. при 140°С.

Отработан технологический процесс изготовления стеклотекстолита и трехслойной сотовой панели на основе быстроотверждаемого связующего по “crush core” технологии. Исследованы их физико-механические свойства, горючесть, тепловыделение и дымообразование.

Технология “crush core” позволяет получить трехслойные сотовые панели двойной кривизны высокого качества с хорошей лицевой поверхностью при сокращении трудоёмкости и производственного цикла относительно существующей автоклавной технологии.

Образцы трехслойной сотовой панели на основе быстроотверждаемого фенолформальдегидного связующего, изготовленные по ускоренному режиму “crush core”, удовлетворяют требованиям FAR-25 по пожаробезопасности и имеют тепловыделение на уровне мировых аналогов (HexPly M25 и HexPly M41 фирмы “Hexcel”).

Сравнительные характеристики быстроотверждаемых фенолформальдегидных связующих для материалов интерьера

	РС-Н модиф.	HexPly M25	HexPly M41
Время гелеобразования при 130°С	4–6 мин	3–4 мин	4–5 мин
Жизнеспособность препрега, мес.	3	1	1
Режим отверждения	140°С – 20 мин	135°С – 60 мин	140°С – 7 мин
Горючесть	трудногорающий		
Дымообразование	слабодымящий		
Максимальная скорость выделения тепла, кВт/м ²	21	52	20
Общее количество выделившегося тепла за первые две минуты, кВт·мин/м ²	5	12	20

СОЗДАНИЕ СЛОИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОВЫШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Н.А.Малый, А.М.Алиев, В.С.Зевако, П.Н.Желтов
(ОАО “УкрНИИТМ”, г. Днепропетровск, Украина)

На сегодняшний день космическая отрасль требует создания принципиально новых конструкционных слоистых композиционных материалов с повышенными удельными эксплуатационными свойствами, которые обеспечивают высокую работоспособность конструкции летательных аппаратов в течение 15-30 лет их эксплуатации в экстремальных условиях.

На сегодняшний день мировой промышленностью освоена технология изготовления текстолитов, угле- и стеклопластиков, которая предусматривает использование препрегов, получаемых предварительной пропиткой тканых материалов растворами смол (“мокрая” пропитка), содержащими до 50 % экологически и пожароопасных растворителей.

Целью работы являлось создание слоистых полимерных композиционных материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками. Поставленная цель была достигнута за счёт применения сухих связующих при изготовлении препрегов.

Специалистами ОАО “УкрНИИТМ” была разработана технология и оборудование для приготовления сухих полимерных связующих и их нанесение на тканые (хлопчатобумажные, стеклянные и др.) материалы. Данная технология обеспечивает:

- полное исключение из производства токсичных и экологически опасных органических растворителей;
- увеличение прочности на разрыв и изгиб на 20-40% по сравнению с аналогами, изготовленными на жидких связующих;
- снижение себестоимости продукции на 10-20 % за счёт исключения растворителей, уменьшения энергозатрат и снижения трудоёмкости;
- улучшение экологического состояния и условий труда.

Институт заинтересован во внедрении данной технологии в производство на предприятиях по изготовлению слоистых пластиков.

ДЕМПФИРОВАНИЕ УДАРНЫХ ВОЛН В КОМПОЗИТАХ С МИКРОСФЕРИЧЕСКИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

*Б.Р.Гафаров, Ю.М.Милехин, С.А.Гусев, А.В.Уткин**
(ФГУП “ФЦДТ “Союз”, г.Дзержинский, *ИПХФ РАН, г.Черноголовка, Россия)

Сферопластики (СП) – композиты с полимерным связующим и стеклянными микросферами (СМС), нашли применение в авиационно-космической технике не только как лёгкий и прочный конструкционный материал-заполнитель, но и для защиты от импульсных ударно-волновых воздействий. Основным процесс в сферопластике, применяемый в качестве демпфера ударно-волновых нагрузок – это диссипация энергии ударной волны при разрушении микросфер и последующем пластическом течении материала в поры; при достаточной толщине слоя порог разрушения СМС определяет амплитуду волны, передаваемую в конструкцию.

Исследование поведения СП при умеренном ударно-волновом нагружении и оценка влияния полимерной матрицы проведены на СП с высокоэластичным кремнийорганическим каучуком, наполненным на 50% по объёму СМС типа МСО-А9, с порогом разрушения 20-30 МПа (50%) и широким распределением прочности. Нагружение образцов толщиной 2-4 мм проводили алюминиевым ударником толщиной 0,4 и 2 мм, метаемым от железной пластины со скоростями

от 400 до 600 м/с по схеме квазиоткола. Измерения давления проведены путем измерения массовой скорости интерферометром VISAR на границе с гексаном (соответствующим СП по акустическому импедансу).

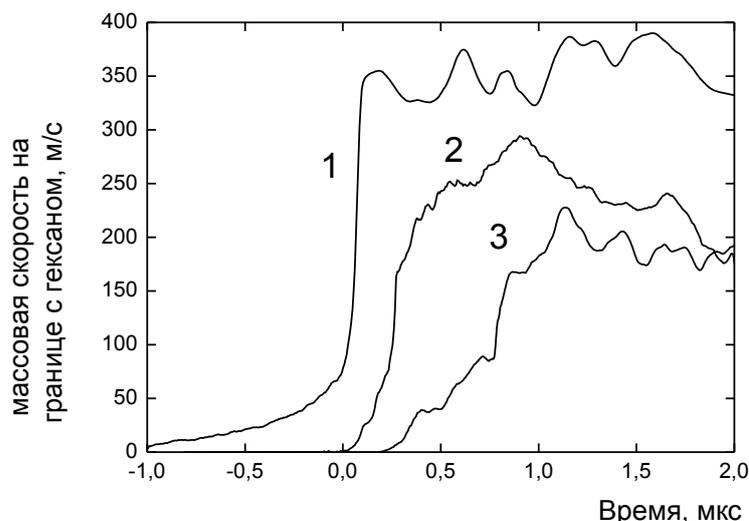


Рис. 1. Результаты измерений профилей волны при различных уровнях нагружения: 1 – толщина 3,8 мм, удар Al фольгой 0,2 мм (500 м/с) и пластиной-метателем (~400м/с); 2 – толщина 2мм, удар Al 2мм (600 м/с) – начало формирования двухволновой конфигурации; 3 – толщина 2мм, удар Al 2мм (450 м/с) –двухволновая конфигурация

Получено (рис.1), что двухволновые профили фронта ударной волны (УВ) с последующей пластической волной наблюдаются при малых амплитудах нагружения, и тем более ярко выражены, чем ниже амплитуда. Первая волна имеет амплитуду около 20 МПа, вторая – около 70 МПа. При высоких (массовая скорость выше 300 м/с) амплитудах УВ, по-видимому, происходит смена механизма разрушения СМС – от равновесного квазистатического с потерей устойчивости к неравновесному, обусловленному неравномерным нагружением сфер на фронте УВ и струйными течениями, что отражается на структуре фронта УВ – происходит плавное, с широким предвестником, нарастание массовой скорости вплоть до максимальной.

Известно, что существуют два порога устойчивости тонкостенной сферы при воздействии внешнего давления: верхний порог (по напряжениям, идеальная сфера) и нижний порог (формоизменение энергетически выгодно, реальные оболочки), который для стекла примерно в четыре раза ниже.

Анализ влияния жёсткости матрицы показал, что при модуле сдвига связующего порядка 0,5% от модуля сдвига стекла происходит переход от разрушения по нижнему порогу к разрушению по верхнему порогу – деформирование связующего достаточно энергоёмко; собственно потеря устойчивости происходит при достаточно больших (5-10% объемных) деформациях ячейки, причем возрастающих при возрастании модуля сдвига связующего. Таким образом, матрица может весьма значительно повысить прочность сферопластика на сжатие по сравнению с прочностью СМС.

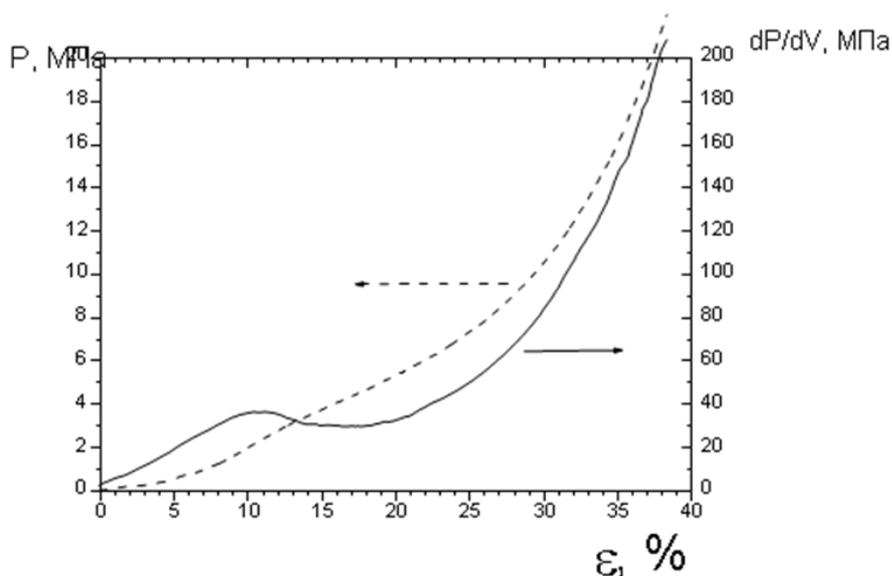


Рис. 2. Диаграмма статического сжатия СП с матрицей с низким модулем сдвига (~ 1 МПа) и СМС, имеющими широкое распределение прочности

Анализ диаграммы статического сжатия (рис.2) показывает, что диаграмма сжатия СП имеет достаточно плавный характер за счет широкого распределения СМС по прочности. Ярко выраженных перегибов нет, хотя разрушение СМС (начало при $\varepsilon \sim 10\%$) четко фиксируется на модуле объемного сжатия dP/dV в диапазоне давлений 3-7 МПа. При ударно-волновом сжатии (рис. 1) волна сжатия имеет аналогичный характер – фронт волны тоже достаточно плавный, но перегибы - пороги разрушения при ~ 20 и 70 МПа также четко фиксируются (профили 2 и 3 рис.1). Первый порог примерно в 4 раза выше, чем статический, по-видимому, при ударно-волновом нагружении в отличие от статического потеря прочности происходит по верхнему, а не нижнему пределу потери устойчивости.

То есть при умеренных уровнях ударно-волнового нагружения в сферопластиках, так же как и в других материалах с высокой пористостью, формируется двухволновая конфигурация с последующей пластической волной с амплитудами, отвечающими порогам потери жесткости СП при статическом сжатии, а наличие матрицы даже с низкими модулем сдвига приводит к переходу от разрушения по нижнему (энергетическому) пределу потери устойчивости СМС к разрушению по верхнему (по напряжениям) порогу.

Таким образом, для проектирования демпфирующих слоёв и прогнозирования их свойств вполне возможно использование данных по прочностным свойствам микросфер и матрицы при статическом нагружении, но с учётом указанных отличий механического поведения сферопластиков при ударно-волновом нагружении.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ

Л.А.Бохоева, Б.И.Зангеев, Т.А.Дамдинов (ВСГТУ, г.Улан-Удэ, Россия)

Применение композиционных материалов (КМ) в авиационной и аэрокосмической промышленности потребовало учета новых факторов, таких как: нелинейный характер деформирования; опасность разрушения вдоль поверхности раздела слоев, определяющих несущую способность конструкции; множественность дефектов. Решение этой проблемы невозможно без комплексных научно-экспериментальных исследований, направленных на

выявление физической картины процессов, протекающих в элементах конструкций под нагрузкой.

Из-за несовершенства технологии изготовления в конструкциях из слоистых композиционных материалов возникают межслойные дефекты, различные по форме и глубине залегания. Такие дефекты могут возникнуть не только при изготовлении, но и при эксплуатации, транспортировке и хранении. В работе для подтверждения аналитических зависимостей и компьютерного моделирования были проведены испытания образцов с дефектами типа отслоений, разработана методика проведения эксперимента.

В соответствии с разработанной методикой проведения экспериментальных работ были предварительно получены модели образцов из слоистых композиционных материалов с применением интегрированных CAD/CAE систем.

В системе ANSYS была создана модель кольца, состоящего из двух тонкостенных объёмных оболочек в виде колец при помощи геометрических примитивов из слоистого композиционного материала, одно из которых моделирует отслаивающийся слой, второе – оставшуюся конструкцию. Модель была разбита на сетку из конечных элементов, при использовании элемента SOLID92. Задача взаимодействия объёмных оболочек была решена в виде контактной задачи двух деформируемых тел, для этого использовались контактные элементы из библиотеки ANSYS. Заложенные технологические дефекты моделировались неотмеченными узлами элементов контактирующих поверхностей. Расчетные модели колец показали, что однонаправленное армирование волокон обеспечивает наибольшую удельную прочность для элементов конструкций, работающих в условиях одноосного нагружения в направлении укладки волокон основной пластины, отслоение находится в состоянии двухосного нагружения.

Были изготовлены образцы колец из слоистых композиционных материалов с разным диаметром, углами армирования препрегов и глубиной залегания дефектов (рис. 1).

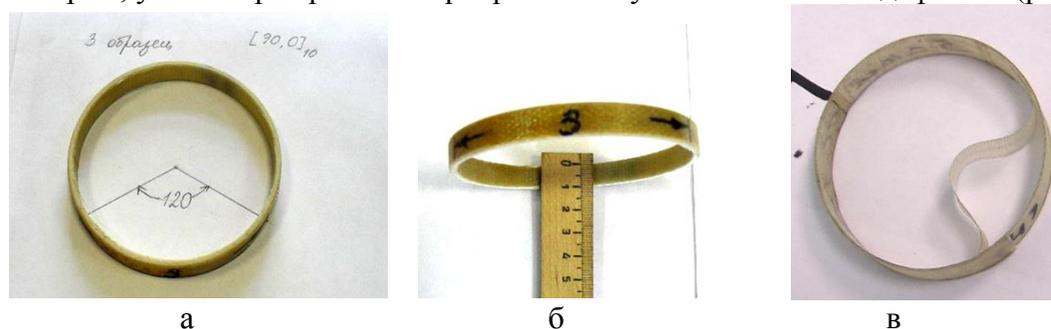


Рис. 1. Образец из стеклопластика $D = 90$ мм, укладка препрега $[90,0]_5$, дефект - 120° : а – вид сверху; б – вид сбоку; в – после эксперимента

Образцы изготавливались из препрегов стеклоткани промышленных марок способом сухой выкладки. Для этого в формообразующую оснастку (пресс-форму) в форме стального кольца разного внутреннего диаметра, смазанного антиадгезионным покрытием, выкладывался предварительно раскроенный препрег в пять или десять слоёв. Затем в сердцевину кольца вкладывался силиконовый вкладыш для создания необходимого внутреннего давления. С торцов пресс-форма закрывалась металлическими пластинами, после чего сборку стягивали струбциной и помещали в печь для полимеризации.

Дефекты, для имитации межслойных отслоений, создавались путем прокладки фторопластовой пленки между определенными слоями. После термостабилизации образцы, выпрессованные из пресс-формы, подвергались механической обработке с торцов. Границы дефектов на образцах очерчиваются рисками. Были спроектированы и изготовлены два варианта полезной модели нагружающих устройств и зажимов, обеспечивающих всестороннее сжимающее давление. Первый вариант полезной модели нагружающего устройства и зажим

(рис.2а) использовались при проведении экспериментов для образцов диаметром 90 мм, второй (рис.2б) – для образцов диаметром 50 мм.



Рис. 2. Полезные модели нагружающих устройств и зажимы:
а – полезная модель (1 вариант); б – полезная модель (2 вариант)

Экспериментальные значения критической силы образцов $P_{\text{экспер}}$ и численные расчеты в системе ANSYS - P_{ANSYS} приведены в табл.

Кол-во слоев	Кол-во слоев д/дефекта вид деф.	Укладка препрега	Диаметр образца, мм	Критическая сила потери устойчивости дефекта типа отслоение (кН)	
				$P_{\text{экспер}}$	P_{ANSYS}
10	1	90,0	90	20,64	19,36
		45,-45		10	8,72
5	1	45,-45	50	4,5	4,9
		90,0		8,71	7,19
10	1	90,0		20,3	21,69

По результатам экспериментальных исследований получено:

1. Разработана методика проведения эксперимента, проведена серия испытаний. Результаты экспериментальных работ представлены в виде таблиц.

2. Разработана методика моделирования элементов конструкций с дефектами, расположенными на разной глубине залегания в системе ANSYS. Результаты, полученные в ходе эксперимента, сопоставимы с численными расчетами, степень сходимости в пределах 15-20 процентов.

3. Исследовано влияние угла укладки препрегов в образцах на величину критического давления и закритического поведения с последующим подрастанием дефекта. Критическая сила в 5- и 10-слойных образцах с одинаковыми характеристиками, с заложенным технологическим дефектом при укладке армированной ткани под углом $[45,-45]_5$ меньше на 50% в отличие от укладки армированной ткани под углом $[0, 90]_5$.

4. Выявлено, что диаметры образцов незначительно влияют на критическую силу потери устойчивости дефекта типа отслоение.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОБТЕКАТЕЛЕЙ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

М.Ю.Русин, В.В.Антонов, В.Г.Ромашин
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Головной антенный обтекатель современного ЛА является составной частью системы наведения, он должен обладать прекрасными радиотехническими характеристиками, ИК и (или) оптической прозрачностью и одновременно обеспечивать теплозащиту и несущую способность при аэродинамическом воздействии. Основной проблемой создания обтекателей является выбор материалов или их синтез под конкретные условия эксплуатации, а также разработка оптимальной конструкции.

Обтекатель ЛА с системой наведения обеспечивает:

- обнаружение воздушных и надводных целей;
- выбор цели, определение ее положения по азимуту и углу места, дальности до цели и скорости сближения;
- выдачу координат цели в систему наведения ракеты.

Возрастающая роль ракетного оружия различных классов и назначений в операциях на земле, в воздухе, на море и в космосе, непрерывный рост скорости и маневренности ракет, требований по точности наведения и дальности поражения цели предопределяют множественность необходимых радиопрозрачных материалов.

Из всего многообразия конструкционных радиопрозрачных материалов наиболее перспективными для головных антенных обтекателей являются ситаллы, оксидная керамика, стеклокерамика, нитридная керамика, полимерные композиционные материалы (ПКМ) – стеклопластики, которые в различных модификациях применяются сегодня при разработке и производстве антенных обтекателей всех ракет.

В докладе представлены сравнительные характеристики по широкому спектру радиопрозрачных керамических материалов как зарубежного производства, так и материалов, разработанных в ФГУП “ОНПП “Технология”. Проведенный анализ позволяет сделать вывод о перспективности дальнейшего производства радиопрозрачных головных обтекателей ракет из таких материалов, как кварцевая керамика НИАСИТ, стеклокерамика типа ОТМ-357 и ее модификаций, алюмооксидная керамика ТСМ-303 и ее модификаций. Также отмечено, что достаточно перспективными являются модификации материалов из нитрида кремния и нитрида бора. Материалы, разработанные в ФГУП “ОНПП “Технология”, позволяют успешно разрабатывать и производить по ТЗ предприятий–заказчиков антенные обтекатели для комплектации высокоскоростных ракет с максимальной температурой поверхности до 2000-2500°С.

В докладе также рассмотрены существующие композиционные материалы, применяемые для производства радиопрозрачных обтекателей. Анализ данных материалов показал, что на сегодняшний день для разработки обтекателей ЛА нового поколения необходимо создавать новые полимерные композиционные материалы с повышенной термостойкостью и более низкими значениями диэлектрических характеристик. Сформулированы основные требования к новым материалам.

Представлены сравнительные характеристики оптически и ИК-прозрачных материалов, применяемых в производстве обтекателей ЛА. ФГУП “ОНПП “Технология” обладает освоенной технологией по производству изделий из бессиликатного алюмокальциевого стекла марки ТСМ-

209 и галатнокальциевого стекла марки TSM-212, прозрачных в видимой и ИК-области спектра 0,4-5,5 мкм и 0,5-6,5 мкм, соответственно.

В докладе рассмотрена одна из основных проблем конструирования обтекателей – соединение оболочки с металлическим корпусом ЛА.

Соединение неметаллов и металлов недопустимо традиционным механическим крепёжом вследствие разности их температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР) металлических частей ракеты и неметаллической оболочки обтекателя, которая приводит к возникновению значительных растягивающих напряжений, и может привести к непредсказуемой потере несущей способности конструкции под воздействием тепловых и аэродинамических нагрузок. Необходимо полное совмещение по ТКЛР материалов шпангоута и оболочки или компенсация их разности клеевым швом. Представлены результаты совместной работы ФГУП “ОНПП “Технология”, Уральского политехнического института и ООО “НПЦ “Линвар” (г.Екатеринбург) по разработке новых прецизионных сплавов с заданным ТКЛР.

Большое внимание в докладе уделено радиотехническим аспектам проблемы создания обтекателей антенн головок самонаведения ракет различных классов. Рассмотрены варианты возможности достижения заданных ТЗ на головные обтекатели ракет радиотехнических характеристик как в узкополосном, так и в широкополосном диапазоне рабочих частот. Определены основные требования к материалам, применяемым в конструкции обтекателей, которые позволят создать сверхширокополосные системы наведения для средств поражения радиолокационных систем обнаружения, работающих в диапазоне длин волн от миллиметрового до дециметрового. Также предлагается для успешного решения всего комплекса задач, стоящих перед разработчиками антенн, ввести в практику совместную разработку систем “антенна-обтекатель” уже на стадии формирования технического задания на систему.

В результате проведенного исследования сделаны следующие выводы:

1. Разработанные в России радио-, оптически и ИК-прозрачные материалы в основном обеспечивают современные потребности разработчиков систем управления для ЛА;

2. В ОНПП “Технология” совместно с другими предприятиями разработаны теоретические основы и создана экспериментальная база, обеспечивающие комплексную разработку радиопрозрачных конструкций обтекателей на всех стадиях ОКР, основы технологической подготовки и созданы необходимые производственные мощности для производства радиопрозрачных обтекателей из керамики и ПКМ для ЛА с числом $M \leq 9$;

3. Отсутствует серийная технология и достаточная производственная база по изготовлению оптически и ИК-прозрачных обтекателей для современных систем наведения ЛА;

4. Необходимо проведение фундаментальных исследований:

– по синтезу высокотемпературных конструкционных радиопрозрачных материалов для обтекателей ЛА с числом $M \leq 15$ для обеспечения перспективных разработок систем наведения и ЛА;

– по синтезу ИК- и оптически прозрачных материалов, работоспособных при температурах до 1500°C и выше;

– по разработке прецизионных сплавов, совмещенных по ТКЛР с оболочками обтекателей во всём диапазоне рабочих температур;

– по синтезу высокотемпературных эластичных клеев для конструкций обтекателей;

5. Требуется создать новое отечественное и закупить импортное технологическое и измерительное оборудование для новых технологий производства изделий из нитридов, сапфиров, ситаллов, алюмомагнезиальной шпинели, фторида магния, ИК-прозрачных материалов (селенида цинка, сульфида цинка) и др.;

6. Провести фундаментальные НИР и ОКР по созданию совмещённых радио-, оптически и ИК-прозрачных конструкций и технологий производства таких обтекателей.

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ: ОТ РАЗРАБОТКИ ДО ВНЕДРЕНИЯ

Н.И.Ершова (ФГУП «ОНПП «Технология», г.Обнинск, Россия)

Вовлечение результатов научно-технической деятельности (РНТД) в хозяйственный оборот является одним из ключевых направлений подъема российской экономики. Однако создание наукоемкой продукции требует крупных финансовых затрат. Если государство берет на себя расходы, связанные с созданием РНТД, возникает проблема распределения прав на эти результаты.

Согласно нормативным актам 90-х гг. XX века, права на результаты, полученные за счет средств государственного бюджета, должны принадлежать государству, а не отдельной организации, которая выполняла заказ. Такой подход оказался малоэффективным, т.к. не учитывалось, что реализация научно-технических разработок в экономике требует непосредственного участия и заинтересованности их создателей.

Рассмотрен опыт развитых стран и отмечено, что наиболее распространенным решением вопроса о том, кому должны принадлежать права на РНТД, созданные за счет бюджетных средств, является закрепление прав за исследовательской организацией, при этом существенно возрастает эффективность коммерциализации РНТД. Организации-разработчики, лишенные прав на созданную ими продукцию, могут утратить заинтересованность в защите и реализации полученных результатов.

В 2003-2004 гг. в законах об охране объектов исключительных прав была установлена приоритетность закрепления исключительных прав за исполнителем государственного контракта (если государственным контрактом не предусматривалось иное).

Рассмотрено развитие этих норм в части четвертой Гражданского Кодекса РФ (ГК РФ). Если государственный заказчик, заключая контракт, не закрепил исключительное право на результаты интеллектуальной деятельности (изобретения, полезные модели, программы ЭВМ и др.), которые могут быть созданы в ходе выполнения контрактных работ, за РФ, субъектом РФ или муниципальным образованием, то эти права закрепляются за исполнителем работ. При этом ГК РФ расширил сферу договорных отношений: предусмотрена также возможность договориться о том, что права на полученные результаты будут принадлежать совместно исполнителю и РФ.

Проведен анализ различных статей ГК РФ, касающихся договорных отношений. Отмечено несоответствие норм ст. 772 ГК РФ и соответствующих статей части четвертой ГК РФ по вопросу преимущественного закрепления прав на РНТД за исполнителем договорных работ.

Проанализирована также проблема выплаты вознаграждения автору охраняемых объектов интеллектуальной собственности. Отношения между автором и работодателем возникают в рамках трудового договора. Никакие договорные обязательства, обусловленные государственным или муниципальным контрактом (договором), не связывают автора с заказчиком. В силу же трудового договора, в котором автор не оговорил свои права, их приобретает работодатель, за что он обязан выплатить своему сотруднику вознаграждение.

Отмечено, что целесообразность и обоснованность любых инвестиций (их окупаемость в конечном итоге) определяются успешностью использования полученных научно-технических достижений в реальной практической деятельности – в процессе освоения новых технологий и выпуска на их базе новых конкурентоспособных изделий, отвечающих потребностям рынка. В ином случае, если разработка остается невостребованной, вложенные в нее средства не компенсируются.

О том, что проблема закрепления прав на результаты интеллектуальной деятельности, созданные по государственным контрактам за счет выделенных на это бюджетных средств, не утратила своей актуальности, свидетельствуют и последние Постановления Правительства РФ в этой сфере. Отмечено, что большинство этих документов прямо противоречит диспозитивным нормам ГК РФ, регулирующим те же отношения. Изменения, вносимые в ГК РФ, не могут устанавливаться Постановлениями Правительства. Это сфера действия только федерального закона.

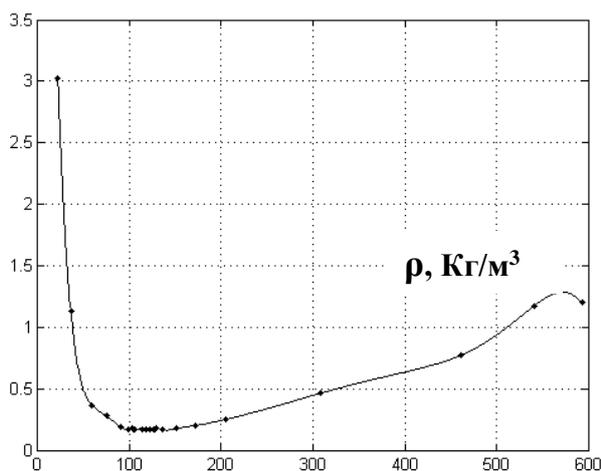
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ И РАДИАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЫСОКОПОРИСТЫХ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

О.М.Алифанов, В.В.Черепанов (МАИ, г.Москва, Россия)

Основные тенденции развития многих современных технических систем связаны с увеличением в них количества теплонагруженных элементов, ужесточением условий их эксплуатации, повышением требований по надежности и гарантированному сроку службы, сокращением материалоемкости. В частности, это относится к космическим и аэрокосмическим аппаратам, для которых обеспечение требуемых тепловых режимов их функционирования является одной из самых важных задач в проектировании. Создание теплозащитных и теплоизоляционных материалов с заданными свойствами при этом играет ключевую роль. Однако разработка новых перспективных материалов с заданными свойствами невозможна без широкого использования методов математического моделирования. Их применение существенно расширяет возможности эксперимента и значительно сокращает затраты на этапе проектирования.

Легкие высокопористые теплозащитные материалы состоят либо из беспорядочно ориентированных волокон, либо имеют сетчатый пространственный каркас, образованный неправильной формы узлами и перемычками. При этом к моделированию материалов типа VALOX, КР, ТЗМК, ТЗМ, ЕТТИ, RVC и т.д. возможен подход, в котором реально нерегулярная структура материала заменяется стохастической регулярной и ортогональной модельной системой, состоящей из сферических и цилиндрических элементов. Детальное описание подобной статистической модели для волокнистых материалов можно найти в [1].

Аналогичная статистическая модель разработана и для пеноматериалов. Как пример ее использования, можно привести исследование теплопроводности пеностеклоуглеродов ЕТТИ, которые были предоставлены для испытаний корпорацией ASTRIUM GmbH совместно с ESTEC/ESA. Их предполагалось использовать для теплоизоляции элементов конструкции космических аппаратов в рамках проекта полета к Меркурию "BepiColombo", выполняемого совместно с космическим агентством (ESA) и Космическим агентством Японии. Проведены исследования, которые показали, например, что материал ЕТТИ-CF, не являясь оптимальным в



отношении его теплопроводности, близок к оптимуму по критерию $\lambda\rho$, что вполне оправдывает его использование в указанных выше целях (см. рис., на котором показан прогноз зависимости полной теплопроводности от массовой плотности для ЕТТИ-CF при $t=800^\circ\text{C}$).

Если в основном объеме материала формируется глубинный режим излучения [2], то излучение изотропно и его либо считают локально равновесным, либо используют в расчетах диффузно-транспортное приближение. Если это предположение не справедливо, то определение радиационных свойств материала осуществляется в рамках кинетического подхода. Важным моментом в этом случае становится решение уравнения переноса излучения.

Соответствующая кинетическая спектральная задача для гетерогенного плоского слоя материала может решаться как в форме задачи для интегро-дифференциального уравнения переноса излучения, так и преобразована к форме интегрального уравнения Фредгольма второго рода (интегральные уравнения переноса излучения) [3]. На практике кинетические задачи часто

приходится решать на сравнительно грубых сетках. Поэтому, если не предпринимать специальных мер для ограничения ошибок аппроксимации, свойства операторов основных уравнений задачи могут быть сильно искажены. Помимо традиционных сеточных методов, подобных методу дискретных ординат, для решения таких проблем оказываются весьма эффективными экстремальные методы, имеющие развитый аппарат средств регуляризации. Как правило, при этом для подавления ошибок в функционал решаемой экстремальной задачи вводятся дополни-тельные компоненты, что изменяет исходный функционал. Вместе с тем приемы, позволяющие избежать таких осложнений, известны [4]. В [3] описана оригинальная процедура функциональной минимизации невязки интегрального уравнения переноса излучения, основанная на использовании метода сопряженных градиентов, реализованного не в пространстве исходных решений оптической задачи, а в пространстве Соболева с более сильной нормой, чем у исходного пространства [3]. Обратное преобразование пространств выглядит в пространстве решений оптической задачи как стабилизирующий оператор, применение которого значительно повышает устойчивость метода сопряженных градиентов и снижает требования по точности аппроксимации операторов исходной задачи. В отличие от сеточных методов, которые для рассматриваемых кинетических задач как правило обладают заметной численной диффузией, метод функциональной оптимизацией способен показывать без искажения даже разрывные решения, которые могут иметь место в случае оптически тонкого слоя материала.

Конечно сеточные методы, подобные методу дискретных ординат, проще, требуют меньше затрат времени и практически безразличны к использованному начальному приближению. Однако они могут приводить к значительной численной диффузии. С помощью подобных методов можно получать численные решения, которые будут достаточно хорошим начальным приближением для предложенного высокоточного экстремального метода. По-видимому, именно такая комбинация сравнительно грубых, но простых сеточных и более точного, например экстремального, методов является оптимальной.

Во всех вариантах используемых радиационных моделей ключевое значение приобретает необходимость расчетов спектральных радиационных коэффициентов поглощения, рассеяния и диффузии излучения, а также индикатрис рассеяния. Полярно-зависимые непрерывные индикатрисы получить относительно несложно. Однако, расчет непрерывных азимутально-зависимых индикатрис является достаточно непростым делом, поскольку традиционный подход к решению радиационно-оптических проблем в рассматриваемых материалах связан с применением теории Ми, а она часто приводит к сингулярным индикатрисам для моделей элементов основы материала. Все это потребовало разработки специальных процедур преобразования результатов, полученных на основе теории Ми.

Литература

1. Алифанов О.М., Черепанов В.В. Математическое моделирование высокопористых волокнистых материалов и определение их физических свойств // ТВТ.– 2009.– Т. 47, №3.– С. 463-472.
2. Апресян Л.А., Кравцов Ю.А. Теория переноса излучения: статистические и волновые аспекты.– М.: Наука, 1983.
3. Алифанов О.М., Черепанов В.В. Идентификация моделей и прогноз физических свойств высокопористых теплозащитных материалов // ИФЖ.– 2010.– Т. 83, №4.– С. 720-732.
4. Алифанов О.М., Артюхин Е.А., Румянцев С.В. Экстремальные методы решения некорректных задач.– М.: Наука, 1988.

ПОЛУЧЕНИЕ НАНОПОРОШКОВ И ПЛОТНОЙ НАНОСТРУКТУРНОЙ КЕРАМИКИ ИЗ АЛЬФА-ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Г.Р.Карагедов, Н.З.Ляхов

(ИХТТИМ СО РАН, ЗАО “Нанокompозит”, г. Новосибирск, Россия)

Методом интенсивной механической обработки порошка α - Al_2O_3 в планетарной мельнице и последующим удалением материала износа мелющих тел выщелачиванием получены порошки со средним размером частиц от 15 до 50 нм. Данные о размерах частиц получены при помощи анализа профиля рентгеновских линий, измерений удельной поверхности образцов, методом динамического светорассеяния и электронно-микроскопических снимков. Остаточное содержание железа в зависимости от интенсивности обработки и выщелачивающего агента варьируется от 0,02 до 0,5% вес.

Использование порошков размером 20-25 нм в качестве затравки (1-3%) при кристаллизации алюмогидроксидного геля привело к снижению температуры образования α - Al_2O_3 до 800-850°C, что позволило получить при кристаллизации нанопорошок с размером частиц около 50 нм и минимальным количеством примесей. Интересно отметить, что размер частиц получаемого нанопорошка не зависит от количества вводимой затравки.

Все порошки обладают хорошей формуемостью и высокой активностью к низкотемпературному спеканию. Путем сухого одноосного прессования и спекания на воздухе при 1350°C получена 99% плотная керамика из α - Al_2O_3 с размером зерна на уровне 200нм. Микротвердость материала превышает 20ГПа, а его вязкость разрушения 5.5 МПа·м^{0.5}. Установлено, что при увеличении температуры спекания плотность остается без изменения, а вязкость разрушения падает более чем в 2 раза.

Показано, что при оптимальном методе формования 50 нм порошка возможно получение плотного керамического материала уже при 1150°C с сохранением размера зерен на уровне 100 нм и менее.

ИНЖЕКЦИОННОЕ ФОРМОВАНИЕ КЕРАМИКИ ИЗ ЛИТЬЕВЫХ СОСТАВОВ CATAMOLD

А.Ф.Ильющенко, С.Г.Барай, Д.Р.Виолентий

(ГНУ ИПМ НАН Беларуси, г.Минск, Республика Беларусь)

Технология инъекционного формования керамики (CIM-ceramic injection molding) имеет неоспоримое преимущество при производстве деталей сложной формы с точными геометрическими размерами в сравнении с традиционными методами порошковой металлургии. В качестве исходного сырья используют гомогенизированные смеси тонкодисперсных порошков и термопластичного связующего вещества.

Для получения керамических изделий немецкая компания “BASF” выпускает ряд литевых составов под торговой маркой Catamold, основу которых составляют ультрадисперсные порошки оксида алюминия или частично стабилизированного диоксида циркония, а в качестве связующего вещества полиацеталь – полупрозрачный термопластичный полимер с прекрасными технологическими характеристиками: высокой стабильностью размеров, высокой прочностью и хорошей теплостойкостью. В настоящее время промышленно выпускаются 4 литевых состава Catamold для изготовления конструкционной и электротехнической керамики, а также состава Catamold TZP C и Catamold TZP-F315 на основе ЧСДЦ с цветным пигментом для декоративной износостойкой и прочной керамики (табл.1) [1].

Таблица 1

Характеристика литьевых составов Catamold на основе оксидов

Торговая марка	Химический состав	Температура спекания, °С	Коэффициент усадки, %	Плотность, г/см ³
Catamold АО-F	α -Al ₂ O ₃ = 99,8%	1610	1,2005	>3,9
Catamold АО-Н	α -Al ₂ O ₃ = 96,0%	1610	1,1850	>3,8
Catamold ZTA-FB	Al ₂ O ₃ -(ZrO ₂ -Y ₂ O ₃)	-	-	-
Catamold TZP А	ZrO ₂ -5% Y ₂ O ₃	1500	1,2885	>5,97
Catamold TZP С	ZrO ₂ -5% Y ₂ O ₃ +пигмент	1500	1,2885	>5,97
Catamold TZP-F315	ZrO ₂ -5% Y ₂ O ₃ +пигмент	1500	1,2885	>5,97

Особенностью литьевых составов Catamold является возможность быстрого каталитического разложения термопластичного полимера полиацеталь за счет его деполимеризации до газообразного мономера (формальдегида) и управляемого постепенного удаления газа из твердого вещества.

В ГНУ ИПМ НАН Беларуси проведены исследования по инъекционному формованию керамики с использованием литьевых составов Catamold. Формование осуществлялось на литьевой установке Allrounder 170 U 150-70 фирмы “Arburg”, каталитическое удаление связующего вещества – на специализированной печи TFE-60-20/e фирмы “Cremer”, высокотемпературное спекание – на электропечи Nabertherm 32/16 фирмы “Naber”.

Проведенные исследования показали, что качество инъекционного литья керамики определяется, в первую очередь, следующими параметрами: давлением впрыска, удержания и противодействия, скоростью впрыска, температурой процесса и литьевой формы, временем удержания давления и охлаждения. Разработана компьютерная программа, регламентирующая эффективное литье на установке Allrounder 170 U 150-70 литьевых составов Catamold АО-F и Catamold TZP-F315. При каталитическом удалении связки полиацеталь в печи TFE-60-20/e изучены особенности химического процесса разложения и удаления связующего вещества при температуре 110°С, а также отработаны нормы расхода катализатора концентрированной азотной кислоты (30-33 мл/ч), транспортирующего инертного газа азота (2,5 м³/ч) и газа пропана для дожига отработанных технологических газов (0,75 м³/ч). Высокотемпературное спекание на воздухе проводили с разной скоростью нагрева, учитывая необходимость пиролиза остаточной связки, форму и особенно толщину стенки спекаемой детали. Установлено, что для материалов Catamold на основе оксида алюминия усадка начинается с температуры 1100°С и активно идет при T=1300-1400°С, а для материала Catamold TZP-F315 – основная усадка при T=1200 -1300°С.

Примеры изделий, изготовленных по СИМ технологии из литьевых составов Catamold АО-F и Catamold TZP-F315, приведены на рис.1.



а)



б)

Рис.1. Золотниковые пары из керамики на основе Al₂O₃ (а)
и корпуса наручных часов из керамики на основе ZrO₂ (б)

При изучении микроструктуры (рис. 2) установлено, что в спеченной керамике практически отсутствуют крупные поры, а мелкие – распределены равномерно по объему отливки. Их доля незначительна и составляет не более 1-2 %.

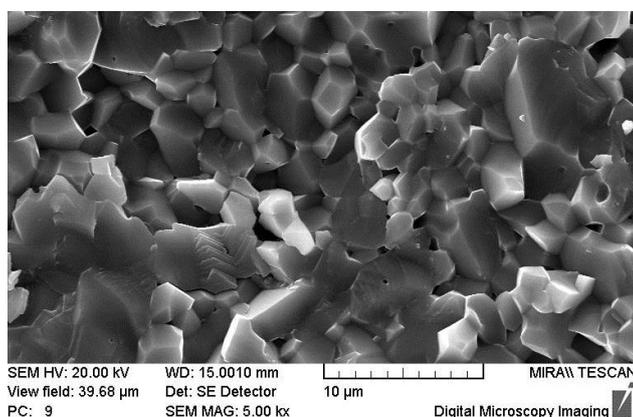


Рис.2. Фрактограмма излома спеченного литьевого материала Catamold АО-F

Основные свойства спеченной керамики, полученной по СИМ технологии из литьевых составов Catamold, приведены в табл.2. Рабочие поверхности в пределах 5 класса точности, шероховатость рабочих поверхностей без дополнительной обработки не ниже 6 класса ($Ra \leq 1,6$).

Таблица 2

Свойства керамики на основе оксидов, полученной по СИМ технологии

Свойства	Единица измерения	Catamold АО-F	Catamold TZP-F315
Предел прочности при изгибе	МПа	300 - 450	400 – 600
Коэффициент вязкости разрушения	МПа·м ^{1/2}	3,5 – 4,0	5,0 – 6,0
Твердость	HV	1500 - 2000	1350 -1420
ТКЛР (20-1000 °С)	10 ⁻⁶ /К	7,0-8,0	9,3-11,0

Литература

1. Проспект “The Chemical Company BASF” (Германия) – 7 с .

СИНТЕЗ В ТВЕРДОЙ ФАЗЕ ЛЕГКОПЛАВКОЙ ЭВТЕКТИКИ В СИСТЕМЕ CaO – V₂O₃ – SiO₂

М.А.Вартанян, Е.С.Лукин, Н.А.Попова (РХТУ им. Д. И. Менделеева, г.Москва, Россия),
Д.Ю.Ковалев (Институт структурной макрокинетики РАН, г.Черноголовка, МО, Россия)

Отличительной особенностью материалов эвтектического состава является особая, так называемая “колониальная”, полностью кристаллическая микроструктура [1], что обеспечивает высокую однородность свойств по объему изделия. Наиболее широкое практическое применение эвтектические композиции находят в металлургии, а также в технологии монокристаллов, поскольку самым простым способом формирования подобной структуры является литье из расплава. В керамической (порошковой) технологии эвтектики применяют практически исключительно как добавки, снижающие температуру спекания основного компонента за счет

образования жидкой фазы. Число исследований, посвященных созданию материалов эвтектического состава по керамической технологии, крайне невелико.

Цель настоящей работы – изучение физико-химических процессов, протекающих при синтезе эвтектики в твердой фазе и способов активирования субсолидусного синтеза материала эвтектического состава изменением химической и термической предыстории исходных компонентов. В качестве объекта исследования была выбрана система $\text{CaO} - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$, отвечающая легкоплавкой эвтектике с температурой плавления 977°C . Оксид кальция в состав реакционных смесей вводили через кальцийсодержащие компоненты различной природы: промышленно выпускаемые соли кальция – карбонат, хлорид (6-водный) и нитрат (4-водный), а также оксид кальция, полученный разложением этих солей. Кроме того, оценивали влияние условий получения оксида кальция из этих соединений на его реакционную способность. Оксид бора в состав смесей вводили в виде борной кислоты, оксид кремния – в виде высокодисперсного аморфного кремнезема (белой сажи).

Соли кальция для получения CaO прокаливали в корундовых тиглях. Температуру прокаливания CaCO_3 (1100°C) выбирали по данным работы [2], кристаллогидратов нитрата и хлорида кальция – исходя из данных ДТА этих солей. Режим термообработки (скорость нагревания и продолжительность изотермической выдержки при конечной температуре) определяли экспериментально.

Для определения оптимальной скорости нагревания порошок CaCO_3 нагревали со скоростью 20, 10, 3 и $1,5^\circ/\text{мин}$ до температуры выдержки. Для определения оптимальной продолжительности термообработки порошок CaCO_3 нагревали со скоростью $1,5^\circ/\text{мин}$ до конечной температуры и выдерживали в течение 1, 2, 4 и 6 ч. Учитывая невысокую температуру плавления кристаллогидратов ($170 - 200^\circ\text{C}$) и возможный выброс вещества при их резком нагревании, порошки солей нагревали с небольшой скоростью ($1,5^\circ/\text{мин}$) до температуры выдержки, продолжительность которой изменяли от 1 до 6 ч. После этого пробы охлаждали в эксикаторе и проводили их химический и петрографический анализ с целью выявить различия в фазовом составе продуктов реакции.

Установлено, что при термолитзе карбоната кальция CaO выделялся в виде ультрадисперсных кристаллитов, образуя рыхлые пористые агрегаты на поверхности зерен CaCO_3 . Отмечено наследование структуры, причем на уровне не только единичных кристаллов, но и их агломератов. Однако в продуктах реакции присутствует остаточный углерод в виде тонкодисперсного графита, при этом чем выше скорость нагревания и короче выдержка при конечной температуре, тем больше его доля в материале. Так, при нагревании со скоростью 20 и $10^\circ/\text{мин}$ количество углерода превышало 15 % по массе, при малых скоростях нагревания доля остаточного углерода заметно снижается. При скорости $1,5^\circ/\text{мин}$ отмечено практически полное его отсутствие в образующемся CaO , хотя в этом случае полностью реакция не протекает и сохраняется значительное количество обедненного по углероду (нестехиометрического) карбоната кальция. Полное разложение карбоната наблюдали только после нагревания со скоростью $1,5^\circ/\text{мин}$ и 4-часовой выдержки при конечной температуре, полученный таким образом CaO не содержал исходного карбоната и отличался высокой дисперсностью (размер кристаллов $1,0 - 1,5 \text{ мкм}$). При увеличении продолжительности выдержки до 6 ч наблюдалась интенсивная рекристаллизация, средний размер образующихся кристаллов CaO составлял $2 - 4 \text{ мкм}$.

Изучение продуктов термолитза кристаллогидратов солей кальция показало, что вне зависимости от вида исходного кальцийсодержащего соединения образующийся CaO при одинаковой продолжительности изотермической выдержки характеризовался сходным размером и морфологией кристаллов, зависимость размеров кристаллов от продолжительности выдержки была выражена слабо. По результатам химического анализа анионные остатки сохранялись в оксиде кальция при изотермической выдержке вплоть до 6 ч, содержание остаточного хлора и азота составляло 3 – 5 ат. % и практически не изменялось при увеличении продолжительности выдержки.

Режимы синтеза эвтектики из различных исходных смесей составляли по результатам их дифференциально-термического (ДТА) и динамического рентгенофазового анализов (ДРФА). ДРФА реакционных смесей проводили по методике, предложенной в работе [4]. Предварительный расчет энергии активации фазообразования по кривым ДТА (табл.) позволил исключить из дальнейшей работы те исходные кальцийсодержащие компоненты, при использовании которых синтез не происходил. Оценку полноты протекания синтеза эвтектики проводили по результатам исследования микроструктуры спеченных продуктов термообработки.

Кальцийсодержащий компонент	CaCO_3	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	CaO (из CaCO_3)
$E_{\text{акт}} \text{ синтеза, кДж/моль}$	756	689	780

Материал, полученный термообработкой шихты на основе карбоната кальция, состоит из трех кристаллических фаз эвтектики ($\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$, SiO_2 в форме γ -тридимита и $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ в форме α -волластонита). Все фазы равномерно распределены по объему образца в приблизительно одинаковом соотношении. Кристаллы всех фаз имеют примерно одинаковый размер (2 - 4 мкм), отмечается их взаимное прорастание. Сходный фазовый состав и морфологию имеет материал на основе нитрата кальция, хотя отмечено некоторое увеличение размеров кристаллитов (до 6 – 10 мкм). В структуре материала на основе CaO наблюдаются определенные отличия. Основными кристаллическими фазами здесь являются $\text{CaO} \cdot \text{B}_2\text{O}_3$ и $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (в форме β -волластонита). SiO_2 располагается в виде прерывистых и непрерывных прослоек γ -тридимита по границам зерен обеих основных фаз.

Таким образом, синтез протекает наиболее полно, а образующаяся микроструктура оказывается ближе всего к характерной для эвтектик в тех случаях, когда в ходе процесса образуется значительное количество жидкой фазы, реагенты находятся в активном состоянии (CaO из CaCO_3) или активируются в ходе реакции (CaCO_3).

Литература

1. Таран Ю. Н., Мазур Ю. И. Структура эвтектических сплавов. – М.: “Металлургия”, 1978. – 311 с.
2. Бутт Ю. М., Тимашев В. В. Портландцемент (минералогический и гранулометрический составы, процессы модифицирования и гидратации). – М.: Стройиздат, 1974. – 328 с.
3. Бутт Ю. М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих материалов. – М.: Высш. шк., 1980. – 472 с.
4. Ковалев Д. Ю., Пономарев В. И., Зозуля В. Д. Динамика фазовых переходов в порошковой системе $3\text{Cu} - \text{Al}$ при СВЧ в режиме теплового взрыва // Физика горения и взрыва. – 2001. – № 6.

ТЕПЛОПРОВОДНАЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННАЯ КЕРАМИЧЕСКАЯ МАССА

Н.И.Борисенко, Г.Р.Петросян (ЭПИ НИТУ МИСиС, г.Электросталь, МО, Россия)

Ультрадисперсные (нано-) порошки плохо прессуются, особенно если частицы имеют форму пластинок. И совсем не прессуются порошки без пластификатора.

При создании трубчатых нагревателей с высоким тепловым потоком не допускается применение даже следов пластификатора, поскольку, испаряясь во время работы, его пары могут разорвать оболочку.

Поэтому был разработан способ, при котором прессуется смесь крупнозернистого порошка

из материала, хорошо уплотняющегося при “сухом” прессовании, и рабочего ультрадисперсного порошка, форма частиц которого при таком прессовании не имеет значения.

Для определения минимального количества “крупного” порошка построена модель, в которой было изучено распределение мелких и крупных частиц сферической формы.

Изучались кубическая, орторомбическая, тетрагональная, тетраэдральная и пирамидальная плотные упаковки. При этом было принято допущение, что “мелкие” частицы заполняют промежутки между “крупными” не только из геометрических условий построения, но и дополнительно из возможностей произвольного заполнения оставшихся свободных объёмов.

Пример таких построений для орторомбической упаковки показан на рис. 1. На рис. 1А показано заполнение промежутков между “крупными частицами”, полученное по геометрическим соотношениям размеров частиц. Видно, что между частицами остаётся довольно много незаполненного места. Для различных типов плотных упаковок эти свободные места составляют от 10 до 20%.

Дополнительное размещение “мелких” частиц позволяет заполнить свободные промежутки произвольным образом. Видно, что количество дополнительных частиц, которые возможно разместить в каркасе их “крупных” частиц, существенно возрастает.

Если при расчётном заполнении количество “мелких” частиц составляет в зависимости от типа упаковки от 0,63 до 5,5%, то максимальное количество частиц, размещаемое при “принудительной” упаковке увеличивается до 25%. Это показывает, что в каркасе, образованном “крупными”, хорошо прессующимися частицами, можно разместить достаточное количество “мелких”, плохо прессующихся частиц с незначительным снижением теплопроводности и электрической прочности композиционного материала, составленного таким образом.

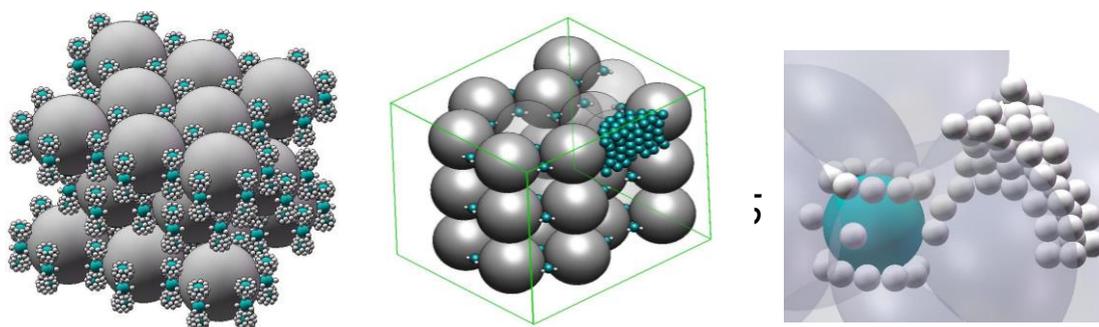


Рис.1. Заполнение свободных промежутков в каркасе из “крупных” частиц при орторомбической упаковке: А – заполнение промежутков по геометрическим построениям; В – дополнительное размещение “мелких” частиц в оставшихся свободных промежутках

Изготовлен композиционный материал из УД-частиц гексагонального нитрида бора (“мелкие” частицы) и оксида магния (“крупные” частицы). Нитрид бора имеет высокую теплопроводность и электрическую прочность при рабочей температуре. Но самое главное – нитрид бора негигроскопичен, попросту – это сухой материал, не содержащий к тому же растворённых газов. Второй компонент композита, оксид магния, также теплопроводен, но имеет худшую электрическую прочность и гигроскопичен, но отлично прессуется.

Частицы оксида магния имели размеры в интервале 1-3 мкм, частицы нитрида бора – 30 – 80 нм. Моделирование показало, что каркас из прессующегося оксида магния может составлять от 3 до 15% от общей массы композита (15- 45% объёма)

Эксперимент показал, что, действительно, смеси нитрида бора и оксида магния с содержанием от 3,5 до 25% масс. последнего имеют достаточную прессуемость, а прессованные образцы позволяют производить с ними различные манипуляции – перегрузку, опрокидывание и другие действия, необходимые в ходе дальнейших технологических операций.

При содержании оксида магния в смеси свыше 10% начинает сказываться

гигроскопичность оксида магния, поэтому для дальнейшего использования в реальных изделиях решено применять смеси, хотя и обеднённые по оксиду магния, но достаточно хорошо прессующиеся и не осыпающиеся при дальнейших манипуляциях.

Испытания экспериментального трубчатого нагревателя показали устойчивость работы при тепловом потоке до 2 МВт/м^2 при температуре по оси нагревателя – 1200°C .

На рис.2 показаны образцы из композиционного материала с различным содержанием компонентов.

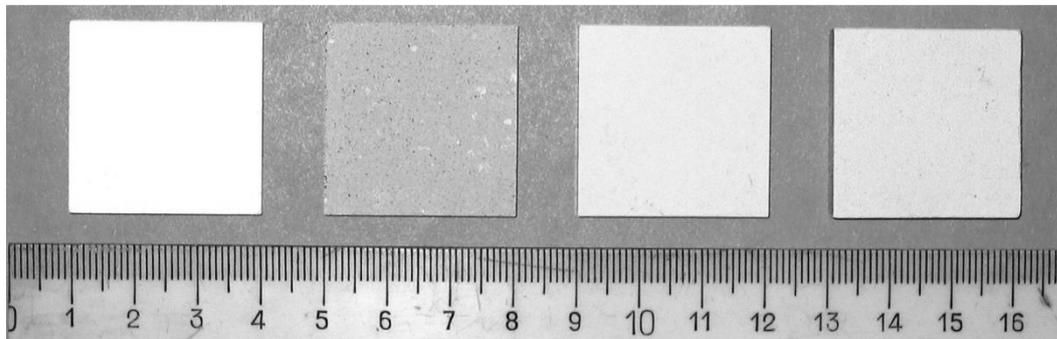


Рис.2. Образцы с различным содержанием нитрида бора, слева – направо: 97, 90, 85, 80% нитрида бора

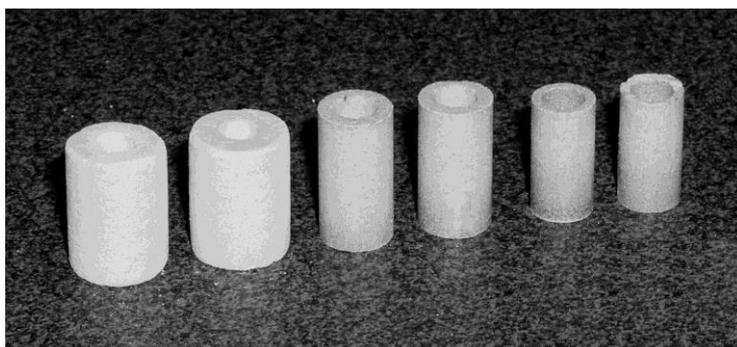
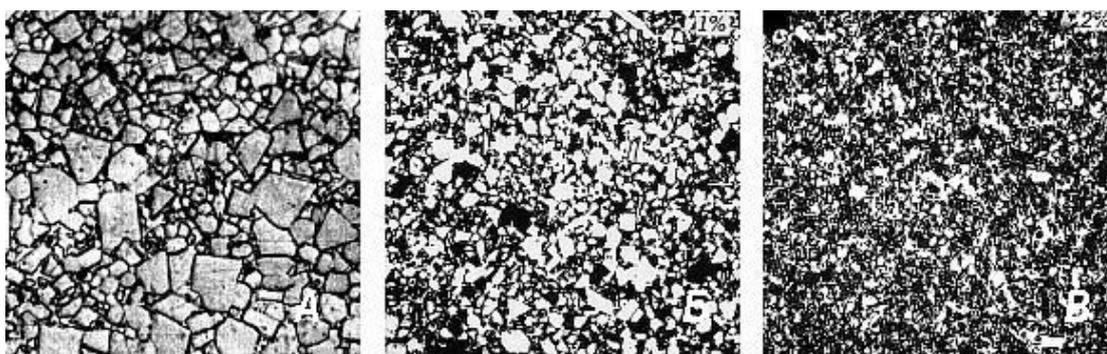


Рис.3. Втулки из керамической массы, предназначенные для оснащения тэн-ов

ИЗНОСОСТОЙКИЙ ТВЁРДЫЙ СПЛАВ ВК8УДП

Н.И.Борисенко, П.А.Лисин, Е.А.Чичиро
(ЭПИ НИТУ МИСиС, г.Электросталь, МО, Россия)

Добавлением к стандартному твёрдому сплаву ВК8 наночастиц карбида вольфрама в количестве от 0,5 до 5% формируется мелкозернистая равновесная структура сплава, в котором количество зёрен от 100 до 500 нм составляет 80 – 90%. Это хорошо видно на рис. 1.



А

Б

В

Рис.1. Изменение микроструктуры твёрдого сплава BK8 в зависимости от количества добавляемого нанопорошка карбида вольфрама: А – исходный твёрдый сплав, Б – добавлен 1% нанопорошка: В – 2%

Уменьшение размеров зёрен твёрдого сплава повышает стойкость режущего инструмента, поскольку увеличивается число зёрен одновременно участвующих в резании. Одновременно увеличивается кромкоустойчивость режущего инструмента, поскольку режущая кромка становится менее зазубренной.

Поскольку количество мелких зёрен существенно возрастает, то возрастает и динамическая вязкость, то есть сопротивление твёрдого сплава ударам.

Интегральные характеристики модифицированного сплава BK8 приведены в табл.1, из которой видно, что основные свойства – твёрдость и прочность, находятся на уровне лучшего к настоящему времени твёрдого сплава H10F фирмы SANDVIK, в то время как сопротивление удару существенно выше.

Таблица 1

Механические характеристики твёрдых сплавов

Марка сплава	Плотность, г/см ³	Предел прочности при поперечном изгибе, МПа	Твёрдость HRA, кг/мм ²	Ударная вязкость, K1с, кгс м/мм ²
BK8, ГОСТ 3882-74	14,4 – 14,8	1600	87,5	0,25
BK8УДП	14,3 – 14,6	1800	89 – 90	1,5 – 2,0
H10F, SANDVIK	14,6 – 14,8	1800	90	0,5

Сравнение микроструктур показано на рис. 2.

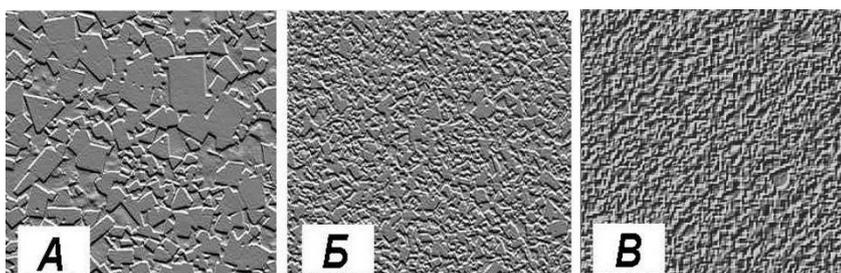


Рис.2. Сравнение микроструктур твёрдых сплавов:
А – ВК8; Б – ВК8УДП, В - Н10F [1] ($\times 1000$)

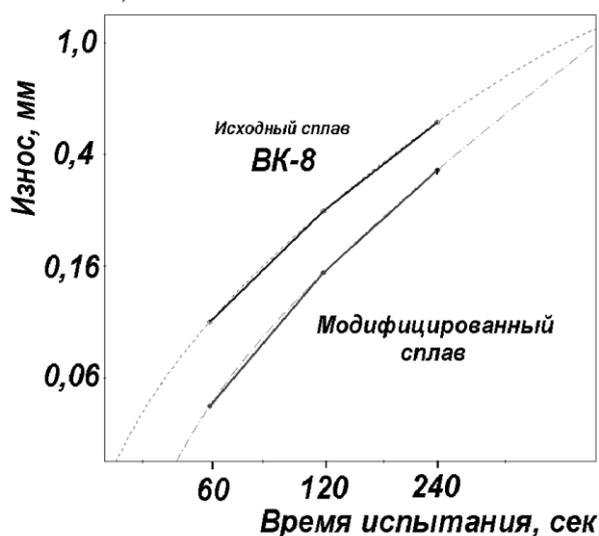
Испытание при резании проводилось с использованием стандартной пластины $12 \times 12 \times 3$ без заднего угла. Результаты представлены на рис. 3 и в табл. 2

Таблица 2

Износ по задней поверхности пластин при точении нержавеющей стали
12Х18Н10Т при $V = 100$ м/мин, $S_0 = 0,15$ мм/об; $t = 1$ мм

Время работы, мин	Марка сплава	
	ВК8, модиф.	ВК6 ГОСТ
8	0,18	0,22
16	0,24	0,34

Исследования процесса резания новыми твёрдыми сплавами показали, что изменяется не только стойкость инструмента, но повышается кромкоустойчивость, снижается шероховатость обработанной поверхности, снижается уровень шума при обработке. Характер резания – плавный, спокойный.



Повышение износостойкости соответствует резанию на режимах резания, определённых технологическим регламентом. Как видно из рисунка 3 при увеличении скорости резания износ модифицированного и стандартного твёрдых сплавов становится одинаковым, поскольку сказывается влияние одинаковой связки - кобальта.

Литература

1.SANDVIK H10F. Extraline grain Cemented Carbide Grade for Rotary Tools. Реферат № Н-2062 PD ENG.SANDVIK. 2001г.

Рис.3. Сравнение износа по задней поверхности резцов из твёрдого сплава стандартного и модифицированного

СПЕЦИФИКА РАСЧЁТА ТЕРМОНАПРЯЖЁННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ И ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ КЕРАМИКИ

О.А.Батанова

(Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН, г.Москва, Россия)

Необходимость создания новых материалов, предназначенных для жестких и экстремальных условий эксплуатации, приводит к внедрению в машиностроение конструкционной керамики. Создание деталей конструкций из керамических материалов требует комплексных подходов к проектированию. По мнению специалистов [1] отработка конструкции, материала и технологии его изготовления должны проводиться в неразрывной связи. При создании конструкции из керамики необходимо разрабатывать материал с заданными свойствами, отвечающими назначению и условиям эксплуатации деталей, на основе представлений о картине возникающих в процессе нагружения температурных полей, напряжений и деформаций, полученных из расчётов. При этом важно, чтобы в расчётном анализе учитывалась специфика деформирования керамических материалов.

Для керамических материалов характерны хрупкость и малая деформируемость, однако при определённом уровне температур и напряжений у них имеет место нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями [2]. Присущая конструкционной и функциональной керамике специфика деформирования, такая как наличие остаточного изменения объёма и неинвариантность ввиду напряжённого состояния кривых деформирования, в частности различное сопротивление растяжению и сжатию, делает невозможным применение для расчётов в неупругой постановке традиционно применяемых теорий пластичности, так как это может привести к ошибочным результатам.

В докладе приводятся результаты решений ряда задач по термopрочностному расчёту деталей из диоксида циркония. Задачи решены на основе математической модели [3], предложенной автором, которая позволяет адекватно описать в рамках феноменологического подхода неупругое деформирование керамических материалов при неизотермическом нагружении. Математическая модель реализована в пакете программ, разработанном с использованием метода конечных элементов.

Результаты приводятся для двух вариантов расчёта, для варианта 1, отражающего реальные свойства диоксида циркония на основе разработанной математической модели, и для варианта 2, не учитывающего специфику деформирования этого класса материалов. Расчёт по варианту 2 проводится по зависимостям теории течения с изотропным упрочнением, получающимся из представленной модели, как частный случай, если предположить, что отсутствует остаточное изменение объёма и нет различия между сопротивлением деформированию при растяжении и сжатии, при этом в расчёт закладываются кривые растяжения. В обоих вариантах расчёта проводится оценка предельного напряжённого состояния.

На рис.1 приведены результаты термopрочностного расчёта осесимметричной детали из диоксида циркония, находящейся под воздействием стационарного теплового потока со стороны внешней полусферической и части внешней цилиндрической поверхности. Высота детали 0,046 м, толщина стенки 0,006 м. На рис.1а приведены изолинии температур температурного поля, вызывающего в детали напряжённо-деформированное состояние, являющееся предметом дальнейшего анализа. При расчёте приняты граничные условия, запрещающие радиальные перемещения на части внешней цилиндрической поверхности детали и осевые на нижнем её торце. Расчет напряжений и деформаций проводится на основе реальных свойств материала с учётом зависимости всех параметров от температуры. Кривые деформирования диоксида циркония различны при растяжении и сжатии и, в анализируемом диапазоне температур (1500К-1900К), имеют явно выраженный нелинейный характер за пределами начального участка.

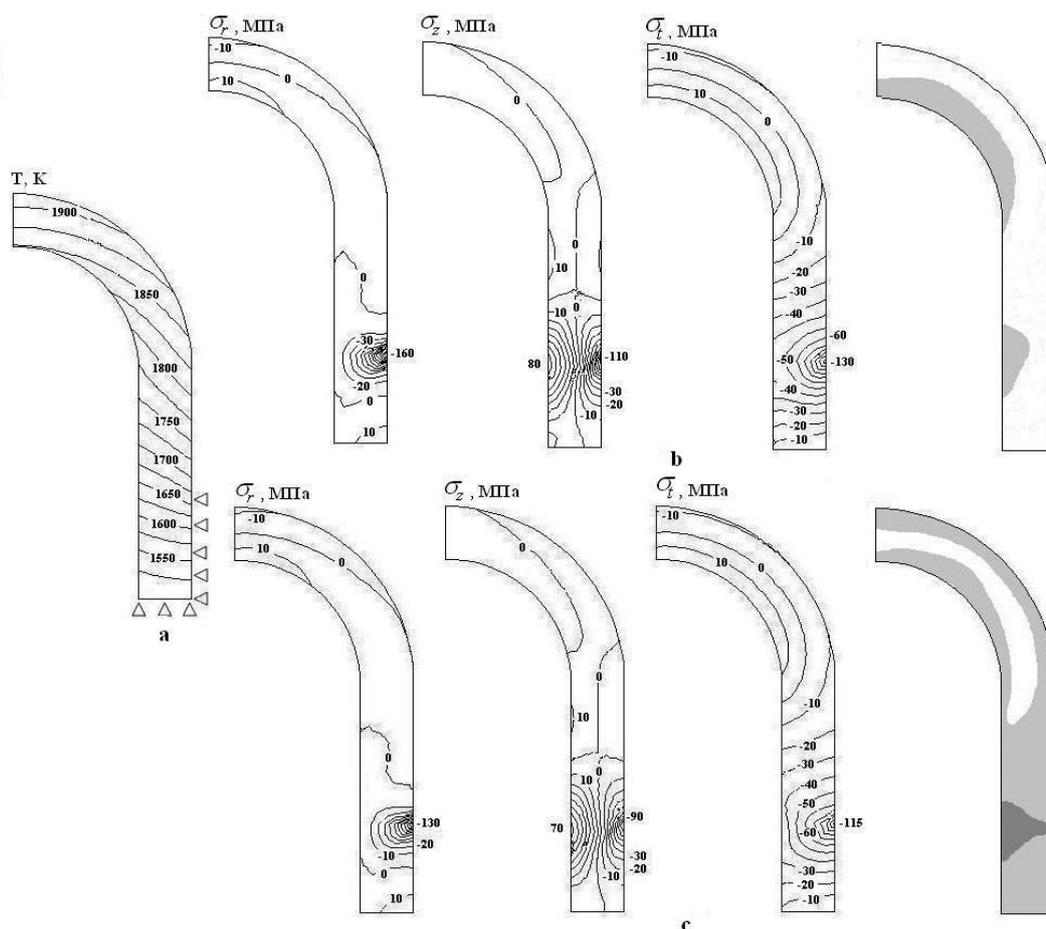


Рис. 1:

а – изолинии температурного поля в сечении детали; б – изолинии радиальных, осевых, окружных напряжений и зона неупругого деформирования, выделенная серым цветом, полученные в расчете с учётом специфики деформирования керамики; с – изолинии радиальных, осевых, окружных напряжений, зона неупругого деформирования, выделенная серым цветом, и зона, в которой достигается предельное напряжённое состояние, выделенная тёмно-серым цветом, полученные в расчёте, проведённом без учёта специфики деформирования керамики

Результаты, полученные по двум вариантам расчёта, значительно различаются не только количественно, но даже качественно, наглядно демонстрируя необходимость учёта специфики деформирования конструкционной и функциональной керамики для верной оценки термочности деталей.

Литература

1. Викулин В.В. Конструкционная и функциональная керамика: учеб. пособие для студентов.– Обнинск, 1997.–131 с.
2. Гогоци Г.А. Неупругость керамики и огнеупоров // Препринт. Киев. АН УССР. Институт проблем прочности.– 1982.– 67 с.
3. Батанова О.А. Специфика прочностного расчёта деталей из полухрупких материалов // Проблемы машиностроения и надёжности машин.– 2009.– №5.– С. 48-53.

ИМПУЛЬСНОЕ ФОРМОВАНИЕ ПОРОШКОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

В.Т.Шмурадко, В.И.Овчинников, О.В.Роман, О.П.Реут

(ОХП “НИИ импульсных процессов с ОП” ГНУ ИПМ, г.Минск, Беларусь)

Сформированы принципы импульсных технологий формования порошковых изделий, основанных на прогрессивных приемах нано-, микро- и макротехнологий материала, техники высоких (0,1-1,5) ГПа и повышенных (1-10 ГПа) давлений с применением высокоскоростного (импульсного 30-100 мкс, 5-15 мс) нагружения и формования порошковых гетерокомпозиций в гидродинамических машинах класса ГДМ, приводимых в действие зарядами метательных взрывчатых веществ (ВВ), изготавливаемых из артиллерийских порохов, и установками гидровзрывного прессования класса УГП, где энергоносителем являются бризантные взрывчатые вещества (БВВ) – аммонит, тротил и др.

Формирование изделий и организация их структуры на стадии высокоэнергетического импульсного нагружения рассмотрены согласно схемам раздачи на внутреннюю полость матрицы (ГВП) и обжатия гранулированной шихты на формообразующий инструмент (ГДП), а условия последующей самоорганизации материала и его упрочнения нано- и микроразмерными фазами α -Al₂O₃, SiC(B₄C) исследованы на стадиях до и после тепловой обработки на примере муллитокорундового материала.

Характерной особенностью процесса взрывного нагружения является то, что структурная перестройка не успевает следовать за деформацией, которая в значительной степени определяется упругими характеристиками сформованного порошкового тела. Условия импульсного ударноволнового формования порошковых материалов должны создавать такой режим деформации, при котором полученная прочность связи между частицами будет выше, чем растягивающие напряжения, возникающие в результате волнового процесса разгрузки.

В связи с этим, формирование структуры и свойств получаемых изделий зависит во многом от реологических характеристик шихтового состава исходного порошкового тела и его подготовки к гидродинамическому или гидровзрывному прессованию.

Рассмотрим процесс технологии импульсного формования на примере гидродинамического прессования.

Подготовка шихты. Для производства тиглей в качестве базовых материалов использовали оксидные системы на основе α -Al₂O₃. Размол и диспергирование корундо-муллитодиксидциркониевого составов и активацию порошковых композиций проводили в размольных аппаратах “Млын-5” и аттриторе А-7 с керамической футеровкой. В качестве исходного сырья использовали порошки глинозема марки ГК, α -Al₂O₃, синтетического муллита, SiC, B₄C ZrO₂, стабилизированного CaO и MgO. Аппарат “Млын-5” использовался для предварительного сухого размола Al₂O₃, 3Al₂O₃, 2SiO₂ и ZrO₂стаб до размера фракций 1-3 мкм. В аттриторе А-7 с керамической футеровкой и размольными шарами из керамики осуществлялся размол до фракций менее 1 мкм и диспергирование с последующим суспензированием до размера частиц 0,1-0,5 мкм.

Гидродинамическое прессование. Технология гидродинамического прессования в значительной степени универсальна благодаря возможности получения изделий, в том числе сложной формы из порошков титана, нержавеющей стали, оксидной, карбидной и нитридной керамики. Известно, что динамическое прессование увеличивает энергетический потенциал порошковой заготовки материала за счет формирования дефектов в ее структуре, на уровне деформации, разрушения, самоиндентирования, дробления частиц, дробления частиц фазовых переходов и образования межчастичных контактов. Импульсное приложение нагрузки обеспечивает образование межчастичных связей уже на стадии прессования, тем самым повышается прочность неспеченных заготовок, а также обеспечивается изотропное распределение их плотности. Прочность заготовок сохраняется при сжимающих нагрузках до 1,5 МПа. Прессование диоксида циркония и композиции на основе Al₂O₃ осуществляли по

осесимметричной схеме обжатия порошковых тел на формующей оправке в виде одно- и двухслойных тиглей и трубчатых элементов в гидродинамической машине – ГДМ-190 при давлении 200-500 МПа, с последующим спеканием в муфельной печи фирмы “Naber” при температурах 1200-1500°C в воздушной среде. На внутренней стороне изделий, со стороны формообразующей оправки, на глубине 0,5-1 мм формируется макроструктурная зона с повышенным уровнем плотности на 3-5 % по отношению к плотности периферийной поверхности изделий. Такое распределение плотности в материале по сечению изделий можно получить только по схеме обжатия порошковых тел на формообразующей оправке с применением высокоэнергетического нагружения. Образовавшийся с повышенной плотностью рабочий слой на внутренней поверхности изделия по своим функциональным свойствам приближается к покрытиям, обеспечивающим на начальной и конечной стадиях их эксплуатации повышенные коррозионно-эрозионные свойства. Сформованный по такой схеме материал на основе $Al_2O_3-3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2-SiC(B_4C)$ в процессе спекания образует трехслойную структуру (рис., каждый из слоев которой имеет свое функциональное назначение.

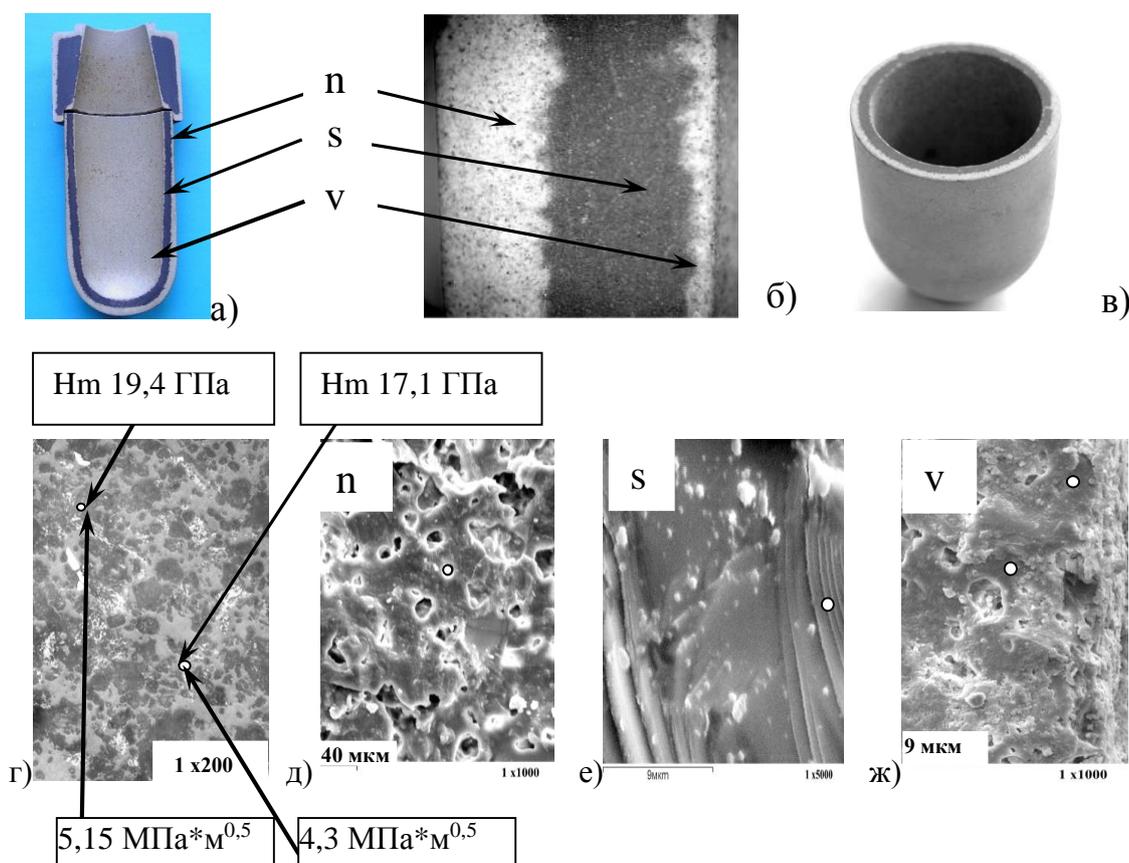


Рис. Трехслойная структура керамического (огнеупорного) тигля:

- n – наружный слой; s – средний слой; v – внутренний слой изделия;
 г) – микроструктура; д), е), ж) – фрактограммы материала в зонах n, s, v

Закключение. Созданные в НИИ Импульсных процессов научно-практические материаловедческие основы для керамо – огнеупорных технологий с применением высокоэнергетического импульсного нагружения (прессования) позволили организовать и освоить выпуск широкой номенклатуры изделий для керамического и огнеупорного производства.

ПОЛУЧЕНИЕ БИКЕРАМИЧЕСКИХ СТАКАНОВ-ДОЗАТОРОВ ДЛЯ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ЛИТЬЯ ЗАГОТОВОК

В.Т.Шмурадко, В.И.Овчинников

(ОХП “НИИ импульсных процессов с ОП” ГНУ ИПМ, г.Минск, Беларусь)

В настоящей работе приведены основные технологические приемы создания двухслойных материалов для стаканов-дозаторов (СД), условия формирования структуры и свойств в СД с применением гидродинамического прессования. На основании проведенных исследований создана технология и изготовлены бикерамические стаканы-дозаторы для машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ).

Выбор и разработка составов композиционных материалов. Основными и необходимыми условиями, которые предъявляются при формировании шихтовых составов, структуры и свойств в огнеупорных материалах, позволяющих эффективно использовать их в промковшах МНЛЗ, являются низкая теплопроводность в сочетании с малой удельной теплоемкостью, высокие огнеупорность и термостойкость, коррозионная (химическая) и эрозийная стойкость к воздействию корродиентов (расплавов металлов и шлаков), термодинамическая устойчивость в эксплуатации.

Стакан-дозатор, являясь огнеупорным керамическим изделием, конструктивно состоит из вставки-дозатора (основной рабочий слой) и корпуса, в который она запрессована. Материалы вставки и корпуса СД имели следующие составы:

1. Материал вставки СД: $ZrO_2 + J_2 O_3$; $ZrO_2 + MgO$; $ZrO_2 + CaO$;
2. Материал корпуса СД:
 - $Al_2O_3 + (SiO_2, MgO, CaO, TiO_2)$ – корундовая композиция;
 - $Al_2O_3 + 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ – корундомуллитовая композиция;
 - $Al_2O_3 + 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + ZrSiO_4$ – корундомуллитцирконовая композиция.

Исследование режимов размола. Размол, диспергирование и трибохимическая активация порошковых материалов проводились в размольных аппаратах “Млын-5” и аттриторе А-5. В качестве исходного сырья при разработке шихтовых составов использовались порошки глинозема марки ГК, $\alpha-Al_2O_3$, синтетического муллита, циркона и оксида циркония стабилизированного. Аппарат “Млын-5” применялся для предварительного сухого размола корунда, муллита и оксида циркония до размера частиц 5-10 мкм в течение 1-1,5 часа. В аттриторе А-5 с керамической футеровкой и размольными телами размол порошков проводился в течение 1,5-2,5 часов до фракции 1-3 мкм, а диспергирование до размера частиц 0,1-1,0 мкм достигалось за 3-4 часа.

Исследование режимов прессования. Очередным важным технологическим звеном формирования исходной структуры в материалах из разработанных шихтовых составов является прессование с применением импульсных методов нагружения в гидродинамических установках ГДМ-160, ГДМ-190 в диапазоне давлений 0,1-1,5 ГПа. Реализуемые нагрузки обеспечивали формирование исходной качественной макроструктуры в материалах изделий (без трещинообразований и расслоений) с относительной плотностью 76-81%.

Прессование вставок СД из стабилизированного ZrO_2 и композиций на основе Al_2O_3 осуществлялось по осесимметричной схеме обжатия порошковых тел на формообразующей оправке. В процессе импульсного нагружения порошковых материалов на внутренней стороне изделий со стороны формообразующей оправки на глубине 0,5-3 мм формировалась макроструктурная зона с повышенным уровнем плотности на 3-7% по отношению к плотности периферийной поверхности изделия. Такое распределение плотности в материале по радиальному сечению изделия можно получить только по схеме обжатия порошка на оправке с применением гидродинамического прессования.

Исследование режимов спекания. На базе спрессованных одно- и двухслойных образцов тиглей исследовались технологические режимы спекания ZrO_2 стаб., $\alpha-Al_2O_3 + 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и $\alpha-Al_2O_3 + 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + ZrSiO_4$ с применением фазовых диаграмм состояния, которые

представляют собой источник информации о фазовом состоянии материала при поли- и изотермическом воздействии. Диаграммы позволили оценить процессы, происходящие в огнеупорах в кинетической и диффузионных областях при спекании и рассчитать технологические режимы термообработки. Кроме того, по диаграммам состояния устанавливались области существования термодинамически устойчивых фаз и температурные диапазоны их формирования, которые затем использовались при разработке режимов спекания одно- и двухслойных материалов с огнеупорностью не менее 1900°С и 1750°С для вставки и корпуса, соответственно. В частности, это позволило обеспечить стабильное поведение СД при дозировке расплава стали из промковша в кристаллизатор в рабочем режиме 1580-1600° С в течение 12 часов.

На основании проведенных исследований установлены режимы спекания ZrO_2 стаб. и композиций на основе $\alpha-Al_2O_3$. Построены диаграммы температурно-временных режимов термообработки для разработанных составов СД (рис.1).

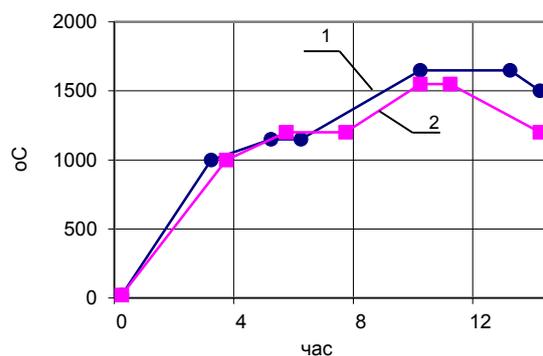


Рис.1. Диаграмма температурно-временных режимов спекания материала вставки (1) и корпуса (2) СД

Исследование свойств материалов СД.

На основании проведенных исследований физико-механических свойств бикерамических материалов стаканов-дозаторов установлено:

- для материала вставки: температурный коэффициент линейного расширения $\alpha = (7,8-9,93) \cdot 10^{-6} / ^\circ C$ при $T = 200-1300^\circ C$; коэффициент интенсивности напряжения $K_{Ic} = (5,5-6,0) \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; $\sigma_{сж.} = (90-410) \text{ МПа}$; краевой угол смачивания расплавом марганцовистой стали $\theta = (115-125)^\circ C$ при $T = 1400-1500^\circ C$; микротвердость $H_\mu = (7520-10970) \text{ Н/мм}^2$; $\rho = 4,8-5,1 \text{ г/см}^3$.
- для материала корпуса: температурный коэффициент линейного расширения $\alpha = (8,4-10,7) \cdot 10^{-6}$ и $(3-4) \cdot 10^{-6} / ^\circ C$ для корунда и муллита при $T = 200-1300^\circ C$, соответственно; коэффициент интенсивности напряжения $K_{Ic} = (6,2-6,5) \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$; $\sigma_{сж.} = (120-170) \text{ МПа}$; краевой угол смачивания расплавом марганцовистой стали $\theta = (104-110)^\circ C$; микротвердость $H_\mu = (6659-14487) \text{ Н/мм}^2$; $\rho = 2,9-3,1 \text{ г/см}^3$.

По разработанной технологии изготовлены бикерамические стаканы-дозаторы для непрерывной разливки стали в МНЛЗ (рис.2).



Рис. 2. Бикерамический стакан-дозатор

Заключение. Разработаны композиционные материалы и технология изготовления на их основе коррозионно-эрозионностойких бикерамических стаканов-дозаторов. Изучены условия размола и диспергирования порошковых композиций, разработаны технологические режимы их обработки в размольных аппаратах “Млын-5” и атриторе А-5. Исследованы режимы импульсного прессования стаканов-дозаторов в ГДМ-160 и ГДМ-190. Установлен оптимальный диапазон давлений (0,3-1,5) ГПа при формовании СД. На основании диаграмм состояния и проведенных исследований установлены режимы спекания $ZrO_{2\text{стаб}}$ и композиций на основе $\alpha-Al_2O_3$. Построены температурно-временные диаграммы термообработки вставки и корпуса СД.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ SiC-AlN

Г.К.Сафаралиев, Ш.Ш.Шабанов, С.А.Садыков, Б.А.Билалов, Г.Д.Кардашова**

(Дагестанский государственный университет, г.Махачкала, Россия,

* Дагестанский государственный технический университет, г.Махачкала, Россия)

Среди твердых растворов на основе карбида кремния особый интерес представляет система SiC-AlN благодаря образованию в ней непрерывных твердых растворов, обладающих уникальным сочетанием теплофизических, электрофизических и механических свойств. Ранее нами было установлено [1], что твердые растворы $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ при определённых концентрациях могут иметь аномально высокие значения эффективной диэлектрической проницаемости. Однако, несмотря на значительные успехи в изучении структурных, упругих, теплофизических свойств этих материалов, а также природы структурных неустойчивостей, особенности диэлектрических свойств системы SiC-AlN изучены недостаточно.

В настоящей работе проведены исследования концентрационной зависимости диэлектрических свойств (эффективной диэлектрической проницаемости $\epsilon_{эф}$ и диэлектрических потерь $tg \delta$) твердых растворов $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$ в диапазоне частот от 0,1 кГц до 1 МГц. Диэлектрическая проницаемость керамики определялась на образцах диаметром 10 мм и толщиной 1мм со следующим соотношением составов: 0,9SiC – 0,1AlN; 0,7SiC – 0,3AlN; 0,5SiC – 0,5AlN; 0,3SiC – 0,7AlN; 0,1SiC – 0,9AlN. Электроды наносились методом вжигания серебряной пасты. Частотную зависимость изучали дифференциальным методом на установке, состоящей из широкополосного трансформатора, эталонного воздушного переменного конденсатора, образца и измерителя амплитудно-частотных характеристик. Перед измерением определялись поправки на частотно-зависимые потери, когда вместо образца устанавливался эталонный воздушный конденсатор. Погрешность измерений диэлектрической проницаемости ϵ составляла (2-4)%. Для всех изученных составов обнаружена дисперсия диэлектрической проницаемости, особенно заметная для твердых растворов с содержанием 30-50% вес. AlN (рис.1). Для этих же составов в

области низких частот наблюдается рост диэлектрических потерь (рис.2). Характер дисперсии аналогичен ориентационной дисперсии в диэлектриках. Такой характер обнаруженных зависимостей может быть интерпретирован на основе следующих представлений. Электрические свойства керамики, состоящей из зерен с полупроводниковыми свойствами с сопротивлением ρ_d и диэлектрической проницаемостью ϵ_d , окруженных изолирующими слоями с сопротивлением $\rho_v \gg \rho_d$ диэлектрической проницаемостью ϵ_v , можно описать соотношением типа Дебая [2]. Причем предполагается, что сопротивление и емкость граничного слоя много больше, чем в объеме зерна. Такой подход связан с тем, что алюминий, диффундируя в зерна SiC и действуя как акцептор, компенсирует доноры – атомы азота и тем самым уменьшает концентрацию основных носителей заряда. Очевидно, что при очень высоких частотах электрические свойства определяются объемом зерен, тогда как при низких частотах доминирует эффект граничных слоев. Если отношение толщины барьера к толщине зерна мало, то эффективная низкочастотная диэлектрическая проницаемость становится исключительно большой. Это подтверждается работой [3], где установлено что глубина диффузии карбида кремния в нитрид алюминия при 2200 К и времени диффузии $\tau = 1$ ч не превышает 0,5 мкм. А в нашем случае при температурах спекания была существенно ниже ~ 2000 К. Такую систему можно рассматривать как упорядоченную гетерогенную среду, состоящую из сфероидов, погруженных в матрицу [4].

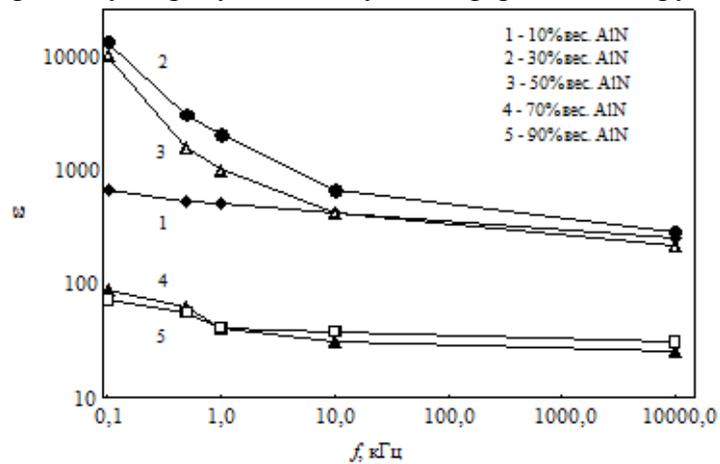


Рис. 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости ϵ' твердых растворов $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$.

Природа роста диэлектрической проницаемости та же, что и в сложных композитах с последовательно соединенными слоями. На границах матрицы из слабо проводящего компонента с тонкими (наноразмерной толщины) и сильно проводящими включениями происходит эффективное накопление свободного электрического заряда.

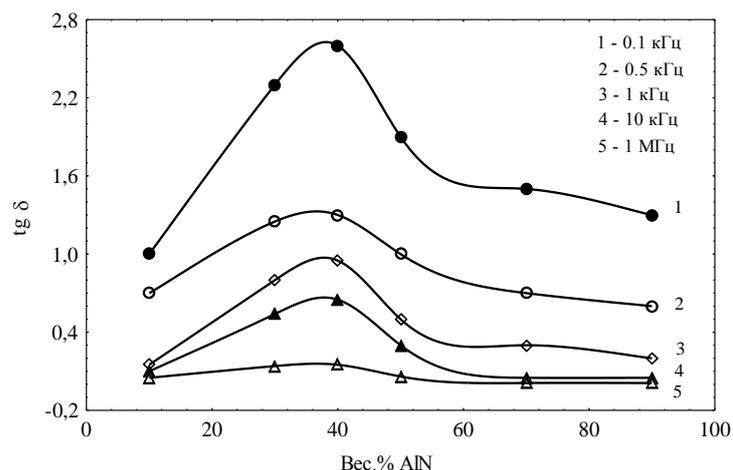


Рис. 2. Концентрационная зависимость диэлектрических потерь $tg\delta$ твёрдых растворов $(SiC)_{1-x}(AlN)_x$

Литература

1. Сафаралиев Г.К., Таиров Ю.М., Цветков В.Ф., Шабанов Ш.Ш. и др. Получение и свойства поликристаллических твёрдых растворов SiC – AlN // Физика и техника полупроводников.– 1993.– Т.27, вып.3.– С. 402-408.
2. Billig E., Plessner K.W. Proc. Phys. Soc., 64 B, 361 (1951).
3. Рафаевич Н.Б., Цветков В.Ф., Комов А.Н., Лосевская С.Г. Образование твердых растворов в системе SiC-AlN при спекании мелкодисперсных порошков // Неорганические материалы. –1990.– Т.26, № 5.– С.973-977.
4. Turik A.V., Radchenko G.S. Maxwell-Wagner relaxation in piezoelectric media // J.Phys.D.: Appl. Phys.– 2002.– V.35. № 11.– P.1188-1192.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ПОЛЗУЧЕСТЬ НЕКОТОРЫХ БЕЗОБЖИГОВЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ФОСФАТНЫХ СВЯЗКАХ

У.Ш.Шаяхметов, К.А.Васин, И.М.Валеев, И.Р.Набиуллин, Л.В.Якупова
(ГУП “БашНИИСтрой”, БашГПУ, г.Уфа, Республика Башкортостан, Россия)

Одно из сравнительно новых и перспективных направлений в материаловедении – создание и производство материалов различного назначения по безобжиговой технологии с использованием фосфатных связующих. Варьируя в широких пределах вид и содержание наполнителей и фосфатных связующих (ФС), можно получить конструкционные и жаростойкие материалы различного назначения, электротехнические изделия, защитные покрытия, высокотемпературные обмазочные массы и т. д. Главными преимуществами указанной технологии по сравнению с другими известными является ее простота, возможность получения изделий сложной конфигурации и разных размеров, высокая производительность. Из всех видов вяжущих фосфатные обеспечивают предельно высокие эксплуатационные качества: термостойкость, сохранение размеров в условиях эксплуатации, высокие коррозионная стойкость и температура службы.

Данная работа посвящена разработке способов получения трубчатых керамических изделий различного назначения по безобжиговой технологии на основе оксидов $\alpha-Al_2O_3$, ZrO_2 и нитрида кремния (Si_3N_4) и карбида кремния (SiC) с использованием модифицирующих добавок и фосфатных связующих (H_3PO_4 и АХФС), а также исследованию зависимости важнейших технических характеристик от технологических параметров получения изделий. Технологические способы получения изделий включают следующие основные операции:

приготовление формовочной массы, формование (литьем, трамбованием, прессованием, вибропрессованием, экструдированием - в зависимости от выбранной консистенции формовочной массы назначения материала изделия), термообработка при температурах 100...1200°C. Скорость нагрева при термообработке зависит от конфигурации и размеров изделий, но не превышает 0,3 град/мин при температурах до 150°C, 1 град/мин при дальнейшем нагреве до 300...500°C. Нагрев до 500°C придает изделиям водостойкость.

Проведены исследования деформации под нагрузкой, ползучести, усадки и расширения при высоких температурах, что позволило оценить возможности службы композиций в качестве трубчатых изделий высокотемпературных агрегатов с учетом испытываемых ими нагрузок.

Ранее установлено, что характер деформации под нагрузкой при высоких температурах составов α -Al₂O₃-P₂O₅; зернистый наполнитель Al₂O₃-P₂O₅; Si₃N₄-P₂O₅; Si₃N₄-Al₂O₃-P₂O₅; Si₃N₄-ZrO₂-P₂O₅ определяется химико-минералогической природой компонентов, составляющих основу композиции, и распределением цементирующих фаз, образующихся при формировании композиции. Изучение деформации под нагрузкой до 1,6 МПа состава α -Al₂O₃-P₂O₅ показало, что начало деформации (0,6%) находится в области температур 1100... 1220°C. До температуры 1100°C ползучесть осуществляется за счет деформации в основном фосфатной фазы и определяется механизмом проскальзывания зерен по границам. Выше 1200°C к указанным процессам прибавляется механизм деформирования композиций за счет спекания, и процесс ползучести описывается уравнением:

$$\dot{\epsilon}' = A' \cdot e^{-Q/RT} \cdot \sigma^n \cdot \mu^m + \epsilon'_{\text{спек}} = A' \cdot e^{-Q/RT} \cdot \sigma^n \cdot \mu^m + K \cdot e^{-E/RT} \cdot (\tau_1^n - \tau_2^n) / \tau,$$

где $\dot{\epsilon}'$ - скорость деформации; Q и E - энергия активации ползучести и спекания; T - температура; τ - время ползучести; σ - нагрузка; μ - зернистость; A' и K - структурные факторы, показывающие роль структуры при ползучести и спекании; n и m - показатели степени, зависящие от механизмов ползучести и спекания.

Исследование структуры композиции α -Al₂O₃ - P₂O₅ с использованием ИК спектроскопического метода, рентгенофазового и петрографического анализов после их испытания на ползучесть при температуре 1500°C показало уменьшение количества образовавшихся фосфатов алюминия и сближение расстояния между частицами наполнителя. Показано, что процесс самой ползучести определяется в основном термическим поведением высокотемпературных фосфатов алюминия.

В композициях составов Si₃N₄ - Al₂O₃ - P₂O₅, Si₃N₄ - ZrO₂ - P₂O₅ деформация при ползучести в температурном интервале 800... 1200°C зависит от их исходной структуры и определяется относительным перемещением зерен наполнителей нитрида кремния, оксидов алюминия (или циркония), а также составом и термическим поведением образовавшихся фосфатов.

Выпущены изделия - трубы различных диаметров и размеров. Изучены деформационные свойства, ползучесть при высоких (экспериментальных) температурах. Установлены параметры композиционных материалов труб и определены сроки их службы.

РАЗРАБОТКА СТОЙКИХ К ОКИСЛЕНИЮ УГЛЕРОД-КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ МНОГОРАЗОВОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ С РАБОЧЕЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ДО 1700°C ДЛЯ ПИЛОТИРУЕМОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

** А.Н.Доморацкий, А.Н.Тимофеев, Е.А.Богачев, А.В.Лахин, А.Э.Дворецкий, С.В.Тащиллов, В.П.Вагин, И.И.Чернокожеев*
(*ОАО "РКК "Энергия", ОАО "Композит", г.Королев, МО, Россия)

Углерод-керамические материалы (УККМ) C-SiC обладают рядом специфических свойств, которые позволяют рассматривать их как перспективные для использования в конструкциях космических летательных аппаратов различного назначения. Специфичность их свойств связана с композиционным составом.

Армирующий элемент – углеродные волокна обеспечивают высокую теплостойкость (прочностные характеристики при высоких температурах), а матрица из карбида кремния защищает углеродные волокна и позволяет использовать УККМ даже при воздействии высокотемпературной окислительной среды, например, диссоциированного воздушного потока при входе в атмосферу Земли. Следовательно, качество матрицы SiC играет важную роль в обеспечении высоких эксплуатационных характеристик УККМ C-SiC.

Основным отличием УККМ C-SiC “КМК-МС”, разработанного в рамках настоящего проекта, от материала “Гравимол”, применявшегося ранее на орбитальном корабле многоразового использования “Буран”, является технология формирования карбидокремниевой матрицы. Для получения SiC-матрицы материала “Гравимол” использовали метод жидкофазной пропитки расплавом кремния заготовок из углерод - углеродного композиционного материала (УУКМ). В настоящей работе для формирования карбидокремниевой матрицы УККМ используется метод насыщения пористой УУКМ - заготовки карбидом кремния, осаждаемым из газовой фазы (CVD/CVI). Важным преимуществом данного метода является то, что окислительно-стойкая матрица формируется не за счет взаимодействия углеродной составляющей заготовки с кремнийсодержащим реагентом, а за счет ее синтеза из реагента, содержащего одновременно атомы кремния и углерода, который доставляется в поры материала диффузионными процессами.

В отличие от западных производителей изделий из УККМ C-SiC согласно методу CVD/CVI, которые используют в качестве исходного реагента для осаждения SiC экологически проблемный метилтрихлорсилан в смеси с водородом, в ОАО “Композит” используется метилсилан (МС). Основные преимущества данной технологии:

- высокая экологичность, отсутствие вредных выбросов: продуктами реакции термического разложения метилсилана являются только карбид кремния (87% масс.) и водород (13%);

- резкое, более чем в 2 раза по сравнению с традиционной газофазной технологией, снижение энергоемкости длительных процессов насыщения.

Для получения УККМ C-SiC использовали УУКМ-заготовки, изготовленные путем пропитки каменноугольным пеком шитых плит из ткани УТ-900 с последующей их термической переработкой в пористый УУКМ (карбонизация и высокотемпературная обработка). Применение кокса пека в качестве углеродной матрицы ввиду особых свойств, обусловленных его более высокой склонностью к графитации, может обеспечить ряд преимуществ материалу УККМ C-SiC с точки зрения повышения механических характеристик и термостойкости.

Окислительная стойкость материала УККМ C-SiC с газофазной карбидокремниевой матрицей обеспечивается комплексом факторов, среди которых значительное содержание SiC в композите (не менее 30 масс.%) и определенный характер распределения в УККМ, изолирующий углеродные компоненты материала, создание на поверхности изделия слоя из карбида кремния толщиной до 100 мкм, получаемого также методом CVD.

Испытания на окислительную стойкость в плазме (режим испытаний: десять циклов воздействия при температуре 1700°C длительностью 600 секунд для каждого цикла), имитирующие натурный спуск с околоземной орбиты, показали стойкость материала “КМК-МС” к воздействию высокотемпературных диссоциированных воздушных потоков на уровне, значительно превосходящем аналогичные показатели материалов “Гравимол” и “Карбосил”, а также показали возможность многоразового применения материала в данных условиях. При этом комплекс физико-механических и теплофизических характеристик позволяет использовать УККМ марки “КМК-МС” в качестве конструкционного.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОМЫШЛЕННО ДОСТУПНЫХ НАНОПОРОШКОВ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ ГЛИНОЗЕМИСТОГО ЦЕМЕНТА

В.В.Викулин, М.К.Алексеев, И.Л.Шкарупа
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В последние несколько лет в связи с интенсивным ростом числа исследований, посвященных синтезу микро- и нанопорошков, часто упоминаются разнообразные технически полезные эффекты от введения таких порошков в разнообразные материалы конструкционного и строительного назначения – полимеры, бетоны и др. В числе микро- и нанодобавок наиболее часто фигурируют производные углерода – волокна, нанотрубки и разнообразные полупродукты с разветвленной поверхностью, однако в рекламных материалах встречаются упоминания и нанопорошков оксидного типа. Разработчики и производители наноразмерных порошков зачастую делают широкие обобщения об успешной применимости их продукции в разных областях техники, но сравнительно небольшой объем спроса на неё свидетельствует о том, что это не всегда так.

В научных монографиях обзорного характера по бетонам и добавкам можно встретить лишь эпизодические упоминания эффектов от введения нанопорошков [1].

В рамках настоящего исследования была проведена оценка влияния некоторых технически доступных нанопорошков на прочностные свойства бетонов на основе глиноземистого цемента, для того чтобы достоверно выявить наличие либо отсутствие полезных технических эффектов от их применения. Критерием технической доступности нанопорошков авторы считают наличие как минимум опытно-промышленного производства с объемом не менее десятков килограммов в месяц.

Для исследования было выбрано 4 вида промышленно доступных наномодификаторов – 2 полярной структуры (оксиды алюминия и циркония) и 2 неполярной (порошки наноалмазов и углерод фуллероидной структуры).

Весь цемент, использованный для приготовления образцов, был подвергнут усреднению путем перемешивания насухую в шаровой мельнице в течение часа без применения мелющих тел. При этом режим перемешивания исключал измельчение порошка цемента. Усреднение проводилось для исключения возможной разницы между отдельными упаковками цемента.

Параллельно с приготовлением серии образцов с нанодобавками каждый раз готовились контрольные образцы, которые хранились совместно с образцами, содержащими нанодобавки, для исключения влияния побочных факторов, таких как флуктуации температуры и влажности.

Прочность образцов определяли по истечении суток (24 ± 1 ч) и одного месяца (30 суток).

Анализ полученных данных, а именно, прочности на изгиб и сжатие бетонов с микродобавками наноалмазов, углерода фуллероидной структуры, порошка диоксида циркония нанодисперсного, оксида алюминия нанодисперсного, свидетельствует о практически полном отсутствии влияния на прочность при сжатии и изгибе бетона добавок наноалмазов, углерода фуллероидной структуры и нанопорошка диоксида циркония. Измеренные в этих случаях цифровые значения прочности при сжатии и изгибе вполне укладываются в рамки чисто статистических отклонений и в целом достоверно свидетельствуют только о том, что прочность при сжатии и изгибе образцов суточной выдержки незначительно менее таковых для образцов месячной выдержки (оценивается в величину менее 10%).

В случае введения в состав бетона нанодисперсного оксида алюминия достоверно зафиксировано повышение прочности бетона при сжатии и изгибе на величины порядка 40-50 и 20-25 %, соответственно. Важно отметить, что эффект получен в области введения микродобавок – 0,05-0,1 % от веса цемента, что делает введение подобных добавок экономически целесообразным (рис.1).

Достоверных изменений микроструктуры бетонов от введения добавок при исследовании на оптическом микроскопе не отмечено, в целом микроструктуры, наблюдаемые при увеличениях вплоть до $\times 800$, практически идентичны (рис. 2).

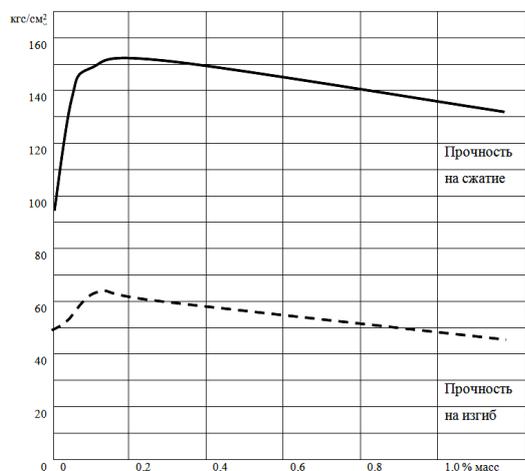


Рис. 1. Изменение прочности бетона при введении добавок нанопорошка оксида алюминия

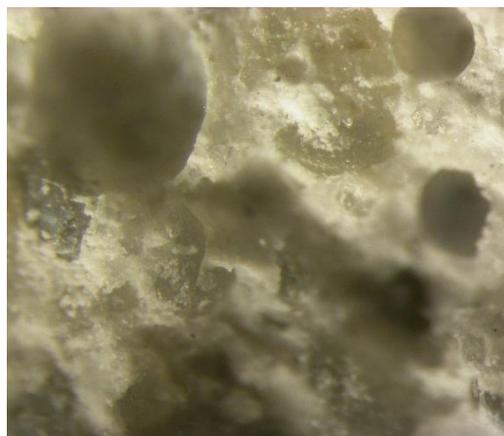


Рис. 2. Микроструктура цемента с добавками нанопорошка оксида алюминия

Исходя из полученных данных, можно сделать предположение, что эффект упрочнения бетона малыми количествами высокодисперсного оксида алюминия связан, скорее всего, с его иницирующим влиянием на кристаллизацию фаз, структурно близких гидратированным формам оксида алюминия.

Литература

1. Бикбау М.Я. Нанотехнологии в производстве цемента. – М.:ОАО “Московский институт материаловедения и эффективных технологий”, 2008.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ОБОЛОЧЕК АНТЕННЫХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ИЗ РЕАКЦИОННОСВЯЗАННОГО НИТРИДА КРЕМНИЯ

И.Ю.Келина, И.Н.Курская, В.Н.Рудыкина, А.И.Ганичев, В.Ю.Шеянов, К.Б.Шамшетдинов, А.С.Шаталин
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Реакционносвязанный нитрид кремния (РСНК) обладает рядом ценных свойств, позволяющих применение его в разных отраслях техники. Такие свойства, как высокая прочность, не изменяющаяся до температуры 1400°C , низкий коэффициент термического расширения, высокая термостойкость, наряду со стабильными диэлектрическими характеристиками и безусадочностью при реакционном спекании, позволяют рассматривать РСНК как один из претендентов для изготовления оболочек антенных обтекателей (АО). Эксплуатационной нишей для данного материала является область температур $900-1600^{\circ}\text{C}$, скорость ракет 5-8 М.

Настоящая работа посвящена технологическим исследованиям изготовления из РСНК оболочек АО высотой до 600 мм.

При получении таких крупногабаритных и сложнопрофильных изделий необходимо было решить вопросы, связанные с формованием, последующей термообработкой, и поскольку РСНК

пористый материал, закрытием пористости и создания на поверхности оболочки покрытия, устойчивого к дождевой и пылевой эрозии, возникающих в процессе эксплуатации изделий.

В качестве метода формования был выбран метод горячего литья под давлением, достоинством которого является возможность путем переплава повторного использования дефектных заготовок. Основным минус – сложная в изготовлении металлическая оснастка и достаточно высокая ее масса. Для формования была разработана специальная термостатированная литевая форма, конструкция которой позволяет регулировать температуру матрицы и пуансона, и специальное устройство для установки, снятия формы с литевого станка и поворота ее при разборке и выемке заготовки, что позволило минимизировать и облегчить ручной труд.

Режимы формования подбирались экспериментально. Варьировали более 10-ю параметрами, такими, как температура шликера и формы (отдельно матрицы и пуансона), содержание термопластичной парафино-восковой связки, давление и время выдержки при заливке, величина компенсационного давления и др.

В результате серии опытов разработан оптимальный режим формования, позволяющий получать бездефектные или с минимальным количеством дефектов в виде пор и раковин (размером не более 3 мм) заготовки массой до 6 кг из термопластичных кремниевых шликеров.

На первом этапе термообработки отработан режим удаления временной технологической связки, который обеспечивает получение целостных заготовок с равномерно удаленной связкой по высоте изделия. Одновременно, оставшееся количество связки (не более 5 %) должно обеспечить возможность транспортировки заготовки на следующие операции. При выборе режима низкотемпературной термообработки варьировали такими параметрами, как температура, длительность, состояние адсорбента (глинозема). В результате проведенных исследований максимальная температура удаления связки составила 250°C, длительность режима – не более 50 ч.

Реакционное спекание (азотирование) проводили в газообразном азоте при температурах 1000-1500°C. Обжиг изделий состоял из двух стадий: сначала в вакууме для удаления остаточной связки из заготовок, а затем собственно азотирование. Для повышения полноты азотирования увеличивали время выдержки при указанных температурах. В разработанном режиме длительность обжига составила ~100ч.

Для закрытия пористости применяли пропитку различными соединениями. В табл. представлены данные по двум пропитывающим составам, которые показывают возможность получения беспористой керамики из РСНК путем пропитки без ухудшения диэлектрических характеристик.

Таблица
Свойства образцов нитрида кремния до и после пропитки

№ обр.	Пропит. состав	До пропитки				После пропитки			
		ρ , г/см ³	П, %	ε	$\text{tg}\delta \cdot 10^4$	ρ , г/см ³	П, %	ε	$\text{tg}\delta \cdot 10^4$
1	1	2,49	22,6	5,73	58	2,49	0,2	5,80	38
2		2,56	20,0	5,98	55	2,57	0	6,01	27
3		2,51	21,9	5,94	67	2,52	0,1	5,96	63
1	2	2,52	21,5	5,92	61	2,51	0,5	5,85	38
2		2,51	22,0	5,80	49	2,53	0	6,01	53
3		2,58	19,4	6,12	41	2,60	0,1	6,12	20

По разработанной технологии из РСНК впервые в России были изготовлены оболочки АО, одна из которых после механической обработки и доводки прошла серию успешных тепловых и прочностных испытаний при температуре 1380°C с темпом нагрева 60-80 град/сек.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ ТИПА ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ ДВОЙНОЙ КРИВИЗНЫ ИЗ КОНСТРУКЦИОННОЙ КЕРАМИКИ

В.А.Рогов, М.И.Шкарупа (Российский университет дружбы народов, г.Москва, ФГУП “ОНИИ “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Эффект снижения шероховатости шлифованной поверхности с уменьшением твердости связки алмазного круга основан на следующем: уже в процессе правки у кругов с мягкими связками формируется рельеф режущей поверхности с менее обнаженными зернами. Это происходит из-за пониженной прочности удержания зерен связкой, т.е. сильно выступающие зерна вырываются. В процессе шлифования происходит дальнейшее сглаживание рельефа режущей поверхности как за счет удаления наиболее выступающих зерен, несущих наибольшую нагрузку, так и за счет их упругого вдавливания в связку. Снижение количества режущих зерен приводит к относительному повышению числа выглаживающих зерен. У круга с маловыступающими зернами большая вероятность трения об обрабатываемую поверхность связки, шаржированной выпавшими зернами и частицами (отходами) самой керамики, что способствует притуплению вершин микронеровностей шлифованной поверхности.

Производительность процесса тонкого шлифования деталей, качество обработанной поверхности керамики, потребляемая мощность, коэффициент трения пары алмаз – керамика находятся в прямой связи с составом, количеством, способом подачи и очистки смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС), поступающей в зону контакта круга с заготовкой. За критерий оценки СОТС приняты величина поверхностного натяжения σ и кислотность раствора pH , влияющие на производительность шлифования и шероховатость обработанной поверхности. Оптимальные показатели процесса имеют место при $\sigma = 380\sim 440$ Н/м и $pH = 9,0\sim 9,2$.

После шлифования поверхность твердой нитридной керамики получается с большей высотой неровностей, чем у более мягкой кварцевой керамики. С повышением твердости керамики уменьшается число зерен круга, способных оставить царапину на ее поверхности, а соответственно и самих царапин. Недостаточно острые зерна будут лишь скользить по поверхности твердой керамики, не оставляя на ней рисок. Кроме того, у более твердых высокоглиноземистых керамик кристаллическая структура с повышенной пористостью, что неблагоприятно сказывается на шероховатости.

Применение кругов с повышенной концентрацией алмазов обеспечивает снижение шероховатости шлифованной поверхности керамики. Увеличение числа зерен в круге, а следовательно, уменьшение их разновысотности выступления из связки делает рельеф круга более ровным. Результатом является большее число царапин на поверхности детали с меньшей разницей глубин. Однако значительного эффекта за счет изменения этой характеристики круга достичь нельзя. При повышении концентрации алмазов в круге в три раза с 50 до 150% шероховатость шлифованной поверхности снижается на 30—40% (рис.1).

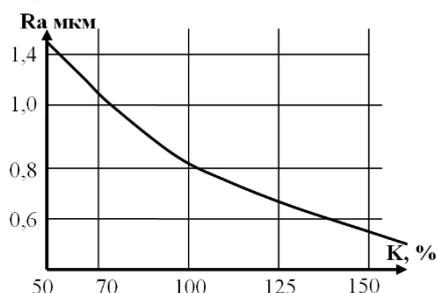


Рис.1. Зависимость шероховатости поверхности оболочек из кварцевой керамики от концентрации алмазов в шлифовальных кругах

При механической обработке оболочек вращения двойной кривизны из хрупких неметаллических материалов усилия резания существенно влияют на моделирование режимов механической обработки.

Для анализа влияния на высотные параметры микрорельефа керамики параметров режима резания, характеристики алмазного инструмента и свойств обрабатываемого материала необходимо знать зависимости, которые в большинстве случаев представляют в регрессионном виде:

$$Ra = F(HV / K_{1c}, v_k, v_d, t, \bar{d}_3),$$

где \bar{d}_3 - средний размер зерна шлифовального круга; HV – твердость по Виккерсу [МПа]; K_{1c} – трещиностойкость [МПа/м²]; v_k – скорость круга [м/с], v_d – скорость заготовки [м/с]; t – глубина алмазного шлифования [мм].

Предельная нагрузка на изделие из хрупкой кварцевой керамики равна предельной нагрузке наименее прочного из его элементов. Увеличение скорости заготовки и глубины резания приводят к снижению прочности изделий, а повышение скорости круга – к увеличению прочности, что связано с влиянием параметров режима резания на нормальную составляющую силы резания при шлифовании.

Формулы для определения сил (силовых зависимостей от режимов обработки) резания при круглом наружном шлифовании изделий из кварцевой, нитридной или стеклокерамики алмазными кругами на металлической связке имеют вид [4]:

$$P_y = 6,97 \cdot 10^4 \frac{t^{0,575} s^{0,78}}{v_k^{0,322} v_n^{0,061} d^{0,583} K^{0,294}} ;$$

$$P_z = 9,46 \cdot 10^3 \frac{t^{0,37} s^{0,40}}{v_k^{0,256} v_n^{0,081} d^{0,065} K^{0,186}} ,$$

где v_k – скорость круга, м/с; v_n – скорость вращения детали, м/мин; t – поперечная подача круга, мм/ход; s – продольная подача круга, м/мин; d – максимальный размер алмазного зерна, мкм; K – концентрация алмазов в круге, %.

Анализ формул показывает, что наибольшее влияние на изменение сил резания при круглом шлифовании также оказывают продольная и поперечная подачи, а скорость резания – в меньшей степени.

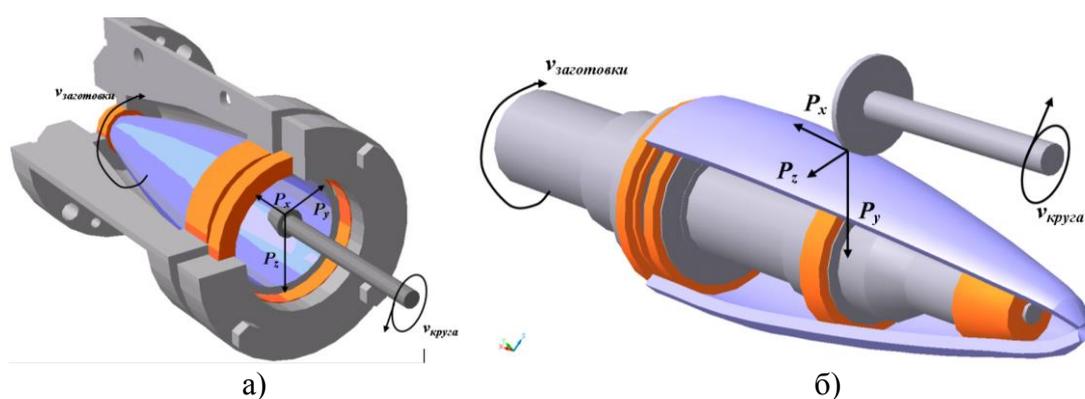


Рис.2. Модели внутренней – а) и наружной – б) механической обработки изделия с приложением сил резания P_x , P_y , P_z при встречном шлифовании оболочки двойной кривизны

Наиболее часто производительность обработки Q выражается степенной функцией. Так, для процесса круглого шлифования деталей из стеклокерамики алмазными кругами на металлической связке производительность (см³/мин) обработки выражается следующей формулой [3]:

$$Q = K_c \cdot K_k \cdot K_a \cdot K_z \cdot K_s \cdot K_g \cdot 43,25P^{0,73} \cdot v^{0,34} S_{np}^{0,5},$$

где $K_c K_k K_a K_z K_s K_g$ – поправочные коэффициенты для расчета производительности шлифования, учитывающие влияние связки, концентрации, марки алмазов, зернистости, коэффициента заполнения, размера алмазонасной вставки; P , v и S_{np} – соответственно давление, скорость резания и продольная подача; диапазон изменения режимов:

$$P = 0,05 - 0,30 \text{ МПа}; v = 5 - 30 \text{ м/с}; S_{np} = 1 - 5 \text{ м/мин.}$$

Производительность механической обработки при круглом шлифовании изделий из кварцевой стеклокерамики Q в $\text{см}^3/\text{мин}$ определяется по формуле:

$$Q = 1,1735v_{кр}^{0,024} \cdot v_d^{0,928} \cdot S_0^{0,966} \cdot t^{0,981},$$

где $v_{кр}$ – скорость резания, м/мин, v_d – скорость детали, м/мин, S_0 – подача на оборот детали, мин^{-1} , t – глубина шлифования, мм.

На изменение производительности шлифования наибольшее влияние оказывает давление шлифования (показатель степени 0,73), а скорость резания и продольная подача влияют несколько меньше (0,34 и 0,5).

Литература

1. Семко М.Ф., Грабченко А.И. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов. – Харьков: ХГУ “Вища школа”, 1980.
2. Петруха П.Г., Марков А.И. Технология обработки конструкционных материалов.– М.: Высшая школа, 1992.
3. Воронин С.В., Бунова Г.З., Юшин В.Д. Компьютерное исследование влияния реальной структуры материалов на характер распространения трещин в хрупких анизотропных телах // Проблемы машиностроения и автоматизации.– 2006.– №4.
4. Гусев В.В. Назначение режимов резания при алмазном шлифовании конструкционной керамики // Вестник науки ДонНТУ.– Донецк, 2006.
5. Бахарев В.П. Формирование эксплуатационных характеристик триботехнической керамики методами алмазной доводки: тез. докл. междунар. семинара “Техника и технологии трибологических исследований”.– Иваново: ИвГУ, 2009.

КОМБИНИРОВАННЫЕ БРОНЕПАНЕЛИ ДЛЯ СИБ ПОВЫШЕННОЙ ЖИВУЧЕСТИ

И.Ю.Келина, Н.А.Голубева, В.В.Ленский, Л.А.Посыпкина, А.А.Чикина, Л.А.Чевыкалова
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Последнее время к броне предъявляются высокие требования не только по пулестойкости, но и по живучести, которая характеризует свойство бронеконструкции сохранять свои защитные свойства при воздействии нескольких средств поражения. Наилучшие результаты обеспечивает керамическая броня в виде мозаичных сегментов, встроенных в размягченную матрицу, известную как упругая керамическая броня. Керамическая броня данного вида была разработана и серийно выпускается фирмой “PlasanSasa” (Израиль) под названием SMART и фирмой “Ares” (Франция) под названием LIBA.

В работе проведены исследования импортных бронепанелей TenCate Liba, ARES PROTECTION SAS (Франция) и Kogelvrije Plaat, LICHAAMS ZIJDE (Германия) для СИБ

повышенной живучести с целью оценки их пулестойкости, анализа структуры и возможной технологии их изготовления.

По данным производителей панели выдерживают более 10 попаданий бронебойно-зажигательных пуль типа Б-32 калибра 7,62 мм и обеспечивают IV уровень защиты в соответствии с НАТО STANAG 4569, что соответствует 6а классу ГОСТ Р 51744-95 (рис. 1а).

Проведенные баллистические испытания подтвердили высокую живучесть – 5 выстрелов в 1 дм² с расстоянием между попаданиями менее 50 мм. При этом поверхностная плотность бронепанелей, равная 44-46 кг/м², значительно превосходит современный уровень требований. Характер повреждения панелей при испытаниях носит локализованный характер и ограничивается размером одного поврежденного керамического элемента (Ø 10-15 мм), рис.1б. Однако следует отметить, что размер отпечатка на пластилиновом блоке (h/Ø), равный 24/80-95 мм, также не соответствует ГОСТ 50744-95.

Мозаичные керамические элементы изготавливают из различных керамических материалов на основе Al₂O₃, Al₂O₃-ZrO₂, Si₃N₄ или их комбинации (рис.1в) в различной конфигурации, обеспечивающей при сборке плотную упаковку. В качестве опорного слоя используют панели UD из СВМПЭ (Дунеема).

Проведенные исследования показали перспективу снижения весовых характеристик бронепанелей при сохранении достигнутой живучести за счет перехода на более легкие керамические материалы на основе SiC и SiC-B₄C или использование комбинации разноплотных керамических материалов, например, Al₂O₃ и SiC.

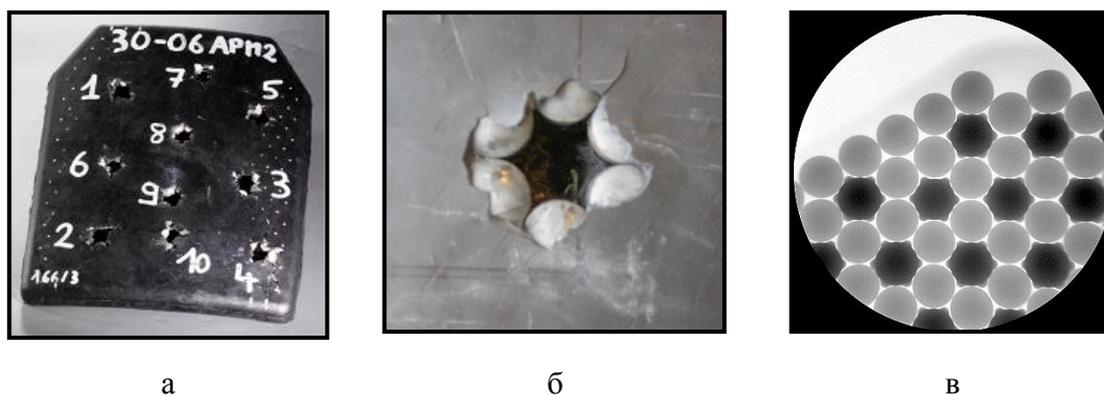


Рис.1. Панель керамическая защитная TenCate Liba: а – после баллистических испытаний; б – локальный характер поражения; в – рентгеновский снимок керамического фронтального слоя

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ УЛЬТРА-ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИПЕРЗВУКОВЫХ АВИАКОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

И.Ю.Келина, А.С.Шаталин, Л.А.Чевыкалова, И.Л.Михальчик, А.В.Аракчеев
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Стремление к превосходству тактико-технических параметров военной техники определяет необходимость исследований, разработки и применения материалов, обладающих экстремальным уровнем рабочих характеристик. Предельные температуры, при которых могут работать материалы, во многих случаях определяют и предельные возможности техники. Потребность в ультравысокотемпературных материалах наиболее остро проявляется при создании гиперзвуковых летательных объектов (беспилотные и пилотируемые самолеты, орбитальные и межпланетные возвращаемые корабли, двигательные системы).

Ультравысокотемпературные материалы необходимы и для деталей проточного тракта различных двигательных систем с ресурсом работы от нескольких секунд для твердотопливных двигателей до часов для сопла жидкотопливных двигателей. Комбинация экстремальных температур, которые могут превышать 3000°C, химическая агрессивность и запыленность газового потока сильно ограничивает выбор материалов для них.

Существует ограниченный перечень материалов с температурой плавления или разложения выше 3000°C: ZrB₂, ZrC, HfB₂, HfC, HfN, TaB₂, TaC, TaN, TiC, NbC, BN, ThO₂, C, W, Re.

Температуры плавления указанных материалов известны давно, но только в последнее десятилетие исследования и разработки ультравысокотемпературных материалов получили целевую направленность на гиперзвуковую технику и финансирование по программам NASA (SHARP-B2) и военных ведомств.

Для уплотнения порошковых заготовок высокотемпературных соединений необходимо термическое оборудование с рабочей температурой 2500°C и более. Поэтому в большинстве исследований для уплотнения используется горячее прессование. Рассматривается также применение горячего изостатического прессования, самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и плазменного нагрева. Исследуются различные добавки как для активирования спекания, так и для повышения прочности, устойчивости к окислению, термостойкости.

Наиболее исследуемые комбинации материалов: HfB₂ – SiC, HfC – C, HfC – TaC – C, ZrB₂ – SiC, ZrB₂–SiC – C, ZrB₂ – MoSi₂, ZrB₂ – ZrC – SiC, ZrB₂ – SiC_w, Cf/ZrC – SiC, Cf/ZrB₂ – SiC, Cf/ZrC – ZrB₂ – SiC. Большинство исследований посвящено материалам на основе боридов циркония и гафния. Отмечается их очень высокая теплопроводность, сопоставимая с теплопроводностью меди при комнатной температуре, которая слабо убывает до 2500°C. Это обуславливает их высокую термостойкость и позволяет рассматривать их применение для сопла реактивных двигателей, где рост температуры внутренней стенки достигает 2000°C менее чем за 0,15 с.

Исследуются взаимосвязи в системе: состав – структура – свойства. Получены горячепрессованные материалы с высокими механическими характеристиками. Некоторые свойства горячепрессованных композиционных материалов в системе ZrB₂ – SiC, HfB₂ – SiC по данным зарубежных исследователей представлены в табл.

Создан дуговой плазматрон (реактивное сопло), разработаны методики испытаний материалов в режимах возвращения корабля в атмосферу земли. Проводятся испытания различных материалов на образцах различной геометрии. Показано, что при испытаниях в реактивном сопле при 1800°C не наблюдается деградация материала ZrB₂-20%SiC. Результаты исследования окисляемости материалов на основе ZrB₂/SiC в диапазоне 1400-2100°C показали недостаточную их устойчивость, тем не менее, разрабатываются и испытываются материалы на основе боридов гафния и циркония для защиты от окисления углерод-углеродных композитов.

Таблица
Свойства композиционных материалов в системах ZrB₂ – SiC, HfB₂ – SiC

Свойства	ZrB ₂	ZrB ₂ /20 % SiC	HfB ₂	HfB ₂ /20 % SiC
Плотность, г/см ³	6,1	5,61	11,2	9,33
Пористость, %	-	< 1	-	-
E, ГПа	489	480 ± 49	480	-
σ, МПа	305	887 ^{20°C} 255 ^{1500°C}	350	450 – 900 ^{20°C} 500 ^{1450°C}
HV _{1,0} , ГПа	23	17,7 ± 0,4	28	17 - 22
K _{1c} , МПа×м ^{1/2}	-	4,07 ^{20°C} 2,53 ^{1500°C}	-	3,8 – 6,29

Свойства	ZrB ₂	ZrB ₂ /20 % SiC	HfB ₂	HfB ₂ /20 % SiC
λ, Вт/м×К	60	103,8 ^{20°C} 67,5 ^{2100°C}	104	-
Ср, Дж/кг×К	628	459 ^{20°C} 811 ^{1900°C}	-	
Коэффициент Пуассона	-	0,13	-	
T _{max} , °С	3245	T пл.	2587,5	3380

Характерная микроструктура материала в системе ZrB₂-20 % SiC представлена на рис.

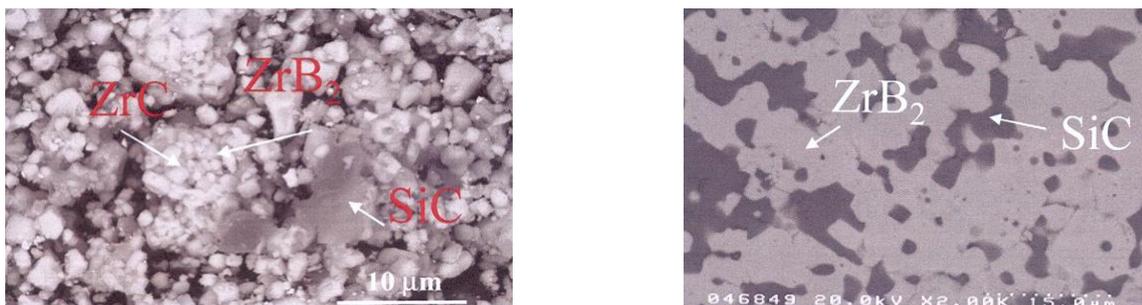


Рис. Микроструктура излома и поверхности ZrB₂-20%SiC

Возрастающая активность исследований и разработок в области ультравысокотемпературных материалов (США, Италия, Япония, Китай) свидетельствует о подготовке технологического прорыва в создании гиперзвуковой авиакосмической техники. Для обеспечения конкурентоспособности перспективной отечественной авиации и космических объектов необходимо начать в России планомерные разработки и исследования ультравысокотемпературных материалов.

На предприятии разработан горячепрессованный материал на основе нитрида кремния марки ОТМ-914, который по комплексу свойств не уступает лучшим зарубежным аналогам, (материал марки AS800) и испытаниями в деталях ГТД подтвердил свои высокие характеристики и перспективность использования. Следует отметить, что в статьях и обзорах по УНТС приводится сравнение свойств именно с этим материалом.

В ФГУП “ОНПП “Технология” имеется техническая возможность начать исследования по составу, свойствам УНТС и основам технологии их получения.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАДИАЦИОННОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА НА ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ЧАСТИЧНО ПРОЗРАЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.О.Забезжайлов, С.А.Анучин (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Повышение рабочих температур изделий из конструкционных, теплоизоляционных и огнеупорных материалов предъявляют более высокие требования к методам определения коэффициента теплопроводности при высоких температурах. Радиационный теплоперенос, который имеет место в частично прозрачных материалах, оказывает влияние на величину коэффициента теплопроводности [1]. Влияние радиационного теплопереноса при определении коэффициента теплопроводности зависит как от степени прозрачности материала, так и от температуры испытания, способа нагрева и других факторов [1,2].

Исследовались образцы частично прозрачного рассеивающего материала на основе кварцевого стекла – кварцевой керамики ($\rho=2,0 \text{ г/см}^3$, $P=10\%$). Температурные зависимости коэффициента теплопроводности и теплоемкости кварцевой керамики определялись на стенде исследования теплофизических свойств материалов в ФГУП “ОНПП “Технология” по методике одностороннего лучистого нагрева в диапазоне температур 300–1500К [3]. Расчет температурных зависимостей коэффициента теплопроводности осуществлялся по зависимостям температуры от времени в различных точках образца материала путем решения коэффициентной обратной задачи теплопроводности (КОЗТ) по модели кондуктивного теплопереноса. Программа для решения КОЗТ была разработана в МГТУ им.Н.Э.Баумана для использования на стенде исследования теплофизических свойств материалов в ФГУП “ОНПП “Технология”.

Для оценки вклада радиационной составляющей теплопереноса при определении коэффициента теплопроводности был произведен расчет кондуктивного и радиационно-кондуктивного теплопереноса в кварцевой керамике при одностороннем нагреве. Радиационно-кондуктивный теплоперенос рассчитывался с использованием двухпоточкового приближения [4]. Оптические характеристики кварцевой керамики определялись по методу, предложенному в работе [5]. Коэффициенты температурного смещения для спектра показателя поглощения кварцевой керамики принимались равными коэффициентам температурного смещения спектра показателя поглощения кварцевого стекла, которые были определены по данным из работы [6]. Показатель рассеяния и индикатриса рассеяния принимались не зависящими от температуры вследствие стабильности структуры кварцевой керамики в широком диапазоне температур, подтвержденной электронно-микроскопическими исследованиями.

Были рассчитаны зависимости температуры в слое материала на различной глубине от длительности одностороннего нагрева в случае кондуктивного и радиационно-кондуктивного теплопереноса при граничных условиях, близких к экспериментальным. Рассчитанные зависимости были использованы для определения коэффициента теплопроводности путем решения КОЗТ (рис.1а).

Рассчитанный коэффициент теплопроводности в случае радиационно-кондуктивного теплопереноса оказался выше, чем коэффициент теплопроводности в случае кондуктивного теплопереноса. При температурах выше 1000 К начинается степенной рост разницы в коэффициентах теплопроводности, рассчитанных с учетом и без учета радиационной составляющей теплопереноса (рис.1б). Эта кривая характеризует вклад радиационной составляющей теплопереноса при определении коэффициента теплопроводности кварцевой керамики методом одностороннего лучистого нагрева. Максимальная разница в коэффициентах теплопроводности составляет 0,2 Вт/м/К (~12%) при $T=1500\text{К}$ (рис.1).

Максимальное отличие в рассчитанных коэффициентах теплопроводности составляет 5% при двукратной вариации показателя рассеяния. При этом более высокое рассеяние в материале приводит к уменьшению вклада радиационной составляющей в теплоперенос. Результаты расчета коэффициента теплопроводности нечувствительны к двукратной вариации показателя поглощения.

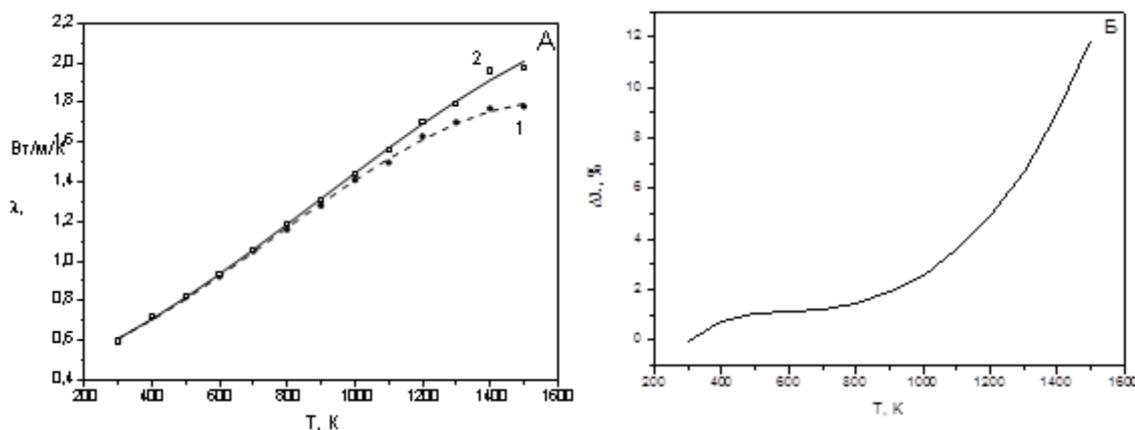


Рис.1. А – температурная зависимость коэффициента теплопроводности кварцевой керамики, полученная путем решения обратной задачи теплопроводности; 1 и 2 – полиномиальные аппроксимации результатов расчета в случае кондуктивного и радиационно-кондуктивного теплопереноса соответственно; Б – разность кривых 2 и 1, выраженная в процентах

Аналогичные исследования были проведены для литийалюмосиликатной стеклокерамики β -сподуменового состава которая имеет в несколько раз более высокие показатели рассеяния [5]. Максимальная разница в коэффициентах теплопроводности стеклокерамики составляет ~2%.

Из полученных результатов следует, что разница коэффициентов теплопроводности кварцевой керамики, рассчитанных с учетом и без учета радиационной составляющей теплопереноса, достигает 12 %, стеклокерамики – 2 %. Увеличение показателя рассеяния материала приводит к уменьшению вклада радиационной составляющей теплопереноса при определении коэффициента теплопроводности.

Литература

1. Ромашин А.Г. Теплопроводность прозрачных материалов // Теплофизика высоких температур.– 1969.– Т. 7, № 4.– С. 659-665.
2. Резник С.В. Математические модели радиационно-кондуктивного теплообмена в материалах тепловой защиты многоразовых транспортных космических систем // Инженерно-физический журнал.– 2000.– Т. 73, № 1.– С. 11-25.
3. Анучин С.А., Степанов П.А. Методика исследований теплофизических свойств керамических материалов при высоких температурах // Новые огнеупоры.– 2009.– № 5.– С.41-43.
4. Иванов А.П., Виткин Э.И. Структура спектра излучения и поля температуры внутри нагреваемого дисперсионного слоя // Теплофизика высоких температур. – 1999.– Т.37, №6. – С. 938-944.
5. Забежайлов М.О., Бородай С.П. Методика определения показателей поглощения и рассеяния полупрозрачных рассеивающих материалов // Новые огнеупоры.– 2009.– № 6.– С.47-49.
6. Ванюшин А.В., Петров В.А. Исследование спектрального коэффициента поглощения кварцевых стекол в области спектра 2,0–4,8 мкм при высоких температурах // Теплофизика высоких температур. – 1976.– Т.14, № 3. – С. 661-663.

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АНТЕННЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ОБТЕКАТЕЛЕЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*В.В.Кирюшина, В.С.Фетисов, **В.И.Куракин***
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Традиционные методы расчета, выполняемые в рамках детерминированной методологии проектирования конструкций летательных аппаратов (ЛА), не учитывают случайную природу большинства исходных параметров – свойств материалов, геометрических параметров конструкции, тепловых, механических и эксплуатационных нагрузок. В результате этого надежность разработанной конструкции может оказаться ниже требуемой, что недопустимо по условиям их безотказности.

В связи с этим в настоящее время при проектировании аэрокосмических конструкций и их узлов большое внимание уделяется тщательному учету и анализу всех видов возникающих неопределенностей и случайностей, что приводит к снижению роли коэффициента безопасности, как фактора неуверенности, и внедрению вероятностных принципов проектирования на основе критериев надежности [1-3]. В основе такого подхода к проектированию лежит концепция разработки робастной конструкции, т.е. конструкции, малочувствительной к случайным вариациям ее параметров и условий эксплуатации.

Внедрение вероятностной методологии особенно важно при проектировании конструкций из хрупких керамических материалов, которые отличаются от металлов большим разбросом своих свойств, структурной неоднородностью, низкой трещиностойкостью, масштабным эффектом прочности и вариабельностью процесса производства.

Одной из главных задач в вероятностном проектировании является установление вида и параметров статистического распределения исходных переменных (входные параметры модели). Решение этой задачи позволяет далее получить статистическое распределение напряжений в конструкции путем многократного моделирования и расчета конструкции методами конечных элементов или разностей в сочетании с моделями хрупкого разрушения и механики разрушения.

При некоррелированности нагрузки и несущей способности и при известных законах их распределения прочностная надежность определяется площадью пересечения кривых распределения нагрузки и несущей способности, которая равна интегралу

$$H = \int_{-\infty}^{\infty} f_F(F) \int_F^{\infty} f_R(R) dR dF = \int_{-\infty}^{\infty} f_R(R) \int_{-\infty}^R f_F(F) dF dR,$$

где H – надежность; $f_F(F)$ и $f_R(R)$ – плотности распределения нагрузки и несущей способности.

На основе данного алгоритма были найдены оценка и ошибка оценки надежности обтекателя из стеклокерамики ОТМ-357 – РПО-50 ракеты РВВ-АЕ с нагрузкой, заданной в виде первой и второй гармоник давления и температуры. В результате проведения 1000 расчетов, моделируемых с помощью метода Монте-Карло, для случаев с различной комбинацией законов распределения получено, что распределение максимальных главных растягивающих напряжений σ_{\max} подчиняется нормальному закону. Теоретическая функция плотности распределения σ_{\max} для случая нормального закона распределения всех входных переменных, кроме геометрических с коэффициентами вариации 10 % и равномерного закона распределения геометрических переменных совместно с ранее полученным распределением Вейбулла допустимой прочности стеклокерамики [4], изображены на рис.

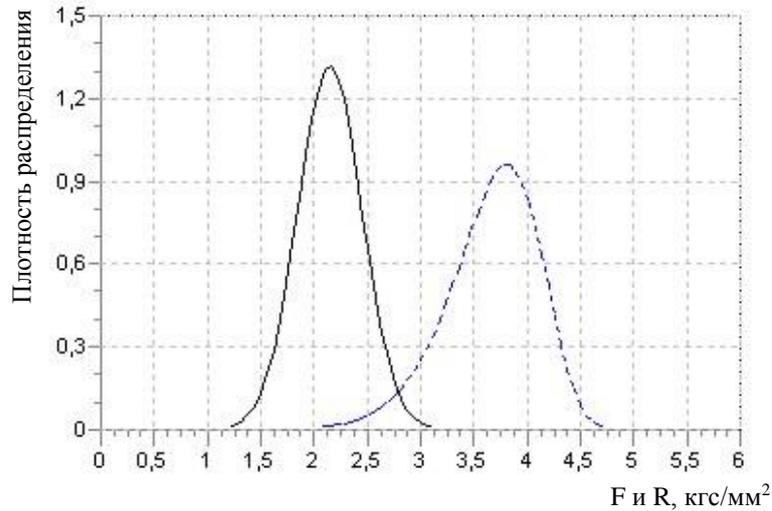


Рис. Функции плотности распределения F (сплошная кривая) и R (пунктирная кривая)

Для оценки влияния среднего значения и стандартного отклонения каждой входной переменной выполнен анализ чувствительности, базирующийся на решении задачи оптимизации при использовании метода оценки надежности первого порядка (FORM – First-Order Reliability Method). Найдены нормированные коэффициенты чувствительности $\varepsilon_{\bar{x}_i}, \varepsilon_{S_{x_i}}$ в виде

$$\varepsilon_{\bar{x}_i} = \frac{\partial \beta}{\partial \bar{x}_i} \cdot \frac{\bar{x}_i}{\beta},$$

$$\varepsilon_{S_{x_i}} = \frac{\partial \beta}{\partial S_{x_i}} \cdot \frac{S_{x_i}}{\beta},$$

$$-1 \leq \varepsilon_{\bar{x}_i}, \varepsilon_{S_{x_i}} \leq 1, \quad i = \overline{1, n},$$

где x_1, x_2, \dots, x_n и u_1, u_2, \dots, u_n – входные и стандартизированные нормальные переменные модели; β – характеристика безопасности; \bar{x}_i – математическое ожидание, S_{x_i} – стандартное отклонение и ν_{x_i} – коэффициент вариации эквивалентного нормального распределения переменных ($i = \overline{1, n}$).

В работе построены диаграммы чувствительности и определены переменные, в наибольшей степени влияющие на вероятность разрушения исследуемой конструкции.

Дальнейшая разработка и внедрение вероятностной методологии проектирования антенных обтекателей ЛА позволят делать корректные заключения об эффективности принятой конструкции, оптимальном выборе материалов, ее ресурсе и надежности.

Литература

1. Long M. W., Narciso J. D. Probabilistic design methodology for composite aircraft structures. – Report, 1999. – P. 138.
2. Review of the Probabilistic Failure Analysis Methodology and Other Probabilistic Approaches for Application in Aerospace Structural Design. – Technical Paper of NASA Marshall Space Flight Center, 1993.
3. Xiaoping Du, Dr. Wei Chen. A Most Probable Point Based Method for Uncertainty Analysis // IDEAL, – Chicago, 2001. – P. 36.

4. Levshanov V. S., Kirjushina V. V., Fetisov V. S., Rusin M. Yu. The Weakest-Link Models in the Strength and Reliability Analysis of the Rocket Fairing Shell Made of Glass Ceramics // 2nd European Conference for Aerospace Sciences (EUCASS) (July 1-6, 2007). – Belgium. – Brussels, 2007.

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ К СЛУЧАЙНОМУ УДАРУ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ SiO₂

В.С.Фетисов, В.Ф.Апрощенко, В.В.Кирюшина, Л.П.Мужанова, О.В.Татарников (ФГУП “ОИПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В работе представлены результаты сравнительной оценки устойчивости к ударным контактными нагрузкам (УКН) керамических материалов на основе SiO₂, рассматриваемых как варианты для использования при производстве головных радиопрозрачных обтекателей ракет РВВ-АЕ:

– поликерамические композиции, полученные двусторонней пропиткой пористой кварцевой керамики НИАСИТ кремнийорганическими олигомерами с последующей полимеризацией: Поликерам 1 (пропитка раствором ТМФТ) и Поликерам 2 (пропитка раствором МФСС-8);

– литийалюмосиликатная стеклокерамика ОТМ-357У, полученная ионообменным упрочнением стеклокерамики ОТМ-357.

Испытания проводили на плоских образцах круглой формы, которые свободно опирались на кольцевую оправку. Удар осуществляли стальным шаром при его свободном падении по нормали в центр образца. Устойчивость материалов к УКН оценивали средним значением высоты падения шара (H_p), при которой происходило разрушение образцов в исследуемых группах.

Исходя из требований к толщинам стенки рассматриваемых обтекателей при их изготовлении из материалов ОТМ-357У и Поликерам 1 и 2, использовали модельные толщины образцов 4 и 6 мм, соответственно. Сравнительную оценку устойчивости к УКН исследуемых материалов без привязки к толщинам стенки обтекателя из этих материалов производили на образцах одинаковой толщины – $h = 5$ мм.

Из полученных в работе результатов следует, что материал ОТМ-357 более устойчив к УКН, чем НИАСИТ: значения H_p , полученные на образцах ОТМ-357 толщиной 5 мм, превышают значения H_p для материала НИАСИТ на 26%; для ОТМ-357У по отношению к Поликерам 1 это превышение составляет 54%.

При этом показано, что модельные образцы материалов Поликерам 1, Поликерам 2 толщиной 6 мм и модельные образцы ОТМ-357У толщиной 4 мм демонстрируют практически одинаковую устойчивость к УКН. Таким образом, рассмотренные материалы могут быть использованы в равной степени в обтекателях соответствующей толщины.

Проведенные исследования не выявили влияния открытой пористости исходных модельных образцов НИАСИТ со средней пористостью $\Pi = 8,9\%$ и $\Pi = 10,4\%$ на их устойчивость к УКН после пропитки. И у Поликерам 1, и у Поликерам 2 значения H_p практически одинаковы, в то время как для исходных образцов с $\Pi = 9,1\%$ они превышают эти значения для образцов с $\Pi = 10,4\%$ на 20%.

Также не было выявлено влияния прочности при статическом изгибе ни на H_p модельных образцов ОТМ-357, ни на H_p образцов ОТМ-357У в диапазоне прочности от 120 до 150 МПа.

С учетом полученных в работе результатов обсуждены вопросы о влиянии масштабного фактора (в нашем случае толщины образцов) на результаты определения H_p как однородных по толщине образцов (материалы ОТМ-357 и НИАСИТ), так и трехслойных: после двусторонней пропитки (Поликерам 1 и 2) и ионообменного поверхностного упрочнения (ОТМ-357У).

Рассмотрены направления дальнейших работ по изучению влияния масштабного фактора на устойчивость к УКН исследованных керамических материалов с целью оценки возможности использования образцов, моделирующих поведение этих материалов при ударном контактном воздействии в соответствующих типах обтекателей, и по разработке соответствующей модели конечно-элементного анализа (MSC.Nastran).

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КЕРАМИКИ СИСТЕМ $ZrO_2-Y_2O_3$, $ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОРОШКОВ

В.С.Якушкина, Е.А.Кораблёва, В.В.Викулин, М.Ю.Русин, Н.Н.Саванина, Л.А.Плясункова
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Постоянно растущие требования к эксплуатационным характеристикам машин и механизмов, создание новых конструкций ставят задачи разработки новых материалов трибологического применения с комплексом свойств, имеющих высокие значения износостойкости, антифрикционности, твёрдости, вязкости разрушения. Керамические материалы на основе диоксида циркония обладают высокими значениями прочности, вязкости разрушения, твёрдости, коррозионной стойкости, возможностью получения очень высокой чистоты поверхности, что делает их перспективными материалами для триботехнического применения [1, 2]. Свойства создаваемых износостойких керамических материалов зависят от свойств применяемых порошков (дисперсности, агломерированности, морфологического строения, фазового и элементного состава) и от методов их обработки, компактирования, спекания. Использование нанопорошков открывает новые возможности при синтезе керамических материалов в получении комплекса необходимых свойств.

Целью данной работы является исследование триботехнических характеристик керамики систем $ZrO_2-Y_2O_3$, $ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$, полученной из наноструктурных порошков.

Использовались наноструктурные порошки систем $ZrO_2-Y_2O_3$, $ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$, полученные методом химического соосаждения из растворов солей циркония, иттрия, алюминия по технологическому процессу, разработанному в ФГУП “ОНПП “Технология” [3,4]. Керамические образцы формовали методом термопластичного литья под давлением. Спекание проводили в интервале температур 1450-1600°C (среда-воздух).

Триботехнические испытания образцов керамических материалов проводили в Институте машиноведения им. А.А.Благонравова (г. Москва) на однопозиционной машине трения с возвратно-поступательным движением сопрягаемых образцов, имеющих плоские поверхности трения [5] по форсированному режиму (ГОСТ 23.205-79). Ускоренные ресурсные испытания с периодическим форсированием режима) и на серийной универсальной машине трения УМТ-1. Контрообразцы выполнялись из стали ШХ15 и У10А. Исследования проводили применительно к парам трения стальная проволока – волока и стальной вал – втулка подшипника. Измерения микротвёрдости рабочих поверхностей керамических образцов выполнены по ГОСТ 9450-76 на приборе ПМТ-3 при нагрузке 200 г.

Представлены результаты триботехнических испытаний керамики систем $ZrO_2-Y_2O_3$, $ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$ в зависимости от режимов изготовления и свойств используемых нанопорошков. Проведено электронно-микроскопическое исследование морфологического строения агломератов наночастиц. Рассмотрена взаимосвязь морфологического строения, размеров агломератов наночастиц используемых порошков, свойств получаемой керамики и триботехнических характеристик. Показаны диаграммы средних значений интенсивностей изнашивания образцов керамик различных составов ($ZrO_2-Y_2O_3$, $ZrO_2-Y_2O_3-Al_2O_3$) и контрообразцов из сталей ШХ15 и У10А в паре при наличии смазки и без нее, а также диаграммы средних значений коэффициентов трения в парах.

Исследование износостойкости керамик различных составов (ZrO_2 - Y_2O_3 , ZrO_2 - Y_2O_3 - La_2O_3), полученных из наноструктурных порошков, показало, что наличие в составе добавки Al_2O_3 приводит к улучшению их триботехнических характеристик независимо от условий испытаний, что необходимо учитывать при применении в различных узлах трения керамика–металл и в качестве волоочильного инструмента при волочении проволоки в кабельной промышленности. Проведены испытания волоков, изготовленных из керамики состава ZrO_2 -3 моль.% Y_2O_3 , в реальных заводских условиях на машине многократного волочения со скольжением (тип ВСК-13). Получены положительные результаты.

Литература

1. Sherman D., Brandon D. Mechanical Properties of Hard Materials and Their Relation to Microstructure//Advanced Engineering Materials.– 1999.– V.1, № 3-4.– P.161-181.
2. Kerkwijk B., Mulder E., Verweij H. Zirconia-Alumina Ceramic Composites with Extremely High Wear Resistance//Advanced Engineering Materials.– 1999.– V. 1, № 1.– P. 69-70.
3. Jakushkina V.S., Korableva E.A., Dyachenko O.P., Vikulin V.V. Zirconia-based ceramics on the way to the production process // Advanced ceramics for third millennium. Proceedings of the International Conference held in Kiev, 5-9 November 2001.– Krakov, 2002. – Vol.69.– С.75-76.
4. Якушкина В.С., Кораблёва Е.А., Викулин В.В., Русин М.Ю. Саванина Н.Н. Керамика из наноструктурных порошков диоксида циркония для высокотемпературных электрохимических устройств: Тр. Междунар. научно-практической конф. “Нанотехнологии – производству 2007”.– М.: ФГУП “Производственно-издательский комбинат ВИНТИ”, 2008. – С. 359-364.
5. Методы испытаний на трение и износ: справ. изд. / Л.И.Куксенова, В.Г.Лаптева, А.Г.Колмаков, Л.М.Рыбакова. – М.: “Интернет Инжиниринг”, 2001. – 152 с.; ил. – (Специалист-материаловед).

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОЦЕНКЕ МОДУЛЕЙ УПРУГОСТИ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ НА МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ОБРАЗЦЫ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННОГО НАПЫЛЕНИЯ

Г.Н.Середа, С.Б.Воробьёв (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Применение покрытий, наносимых способом плазменного напыления, нашло широкое применение в различных областях современного производства конструктивных элементов [1]. Наряду с металлическими материалами в качестве исходного сырья используют порошки на основе керамических соединений, особенно оксидов алюминия и циркония. К их достоинствам следует отнести высокую твердость, низкую теплопроводность, хорошую термостойкость и жаростойкость, надёжное сцепление с основой. Полученные из них покрытия являются пористыми по структуре материала. Их физические свойства зависят от режимов плазменного напыления и требуют экспериментальных исследований. К их числу относится определение модуля упругости. Прямые методы определения этой характеристики достаточно проблематичны ввиду известных сложностей с изготовлением образцов-покрытий необходимых размеров и форм. Одним из способов решения поставленной задачи являются методы косвенного определения требуемой характеристики.

Настоящие исследования базируются на методах определения модуля упругости составного образца в виде трёхслойной в поперечном сечении пластины при растяжении или чистом изгибе [2,3]. Сущность метода заключается в определении модуля упругости одного из слоёв образца по известным значениям этой характеристики для остальных слоёв и всего образца. В основу расчётов положено понятие жёсткости образца, являющейся аддитивной величиной, состоящей из жесткостей входящих в состав образца слоев (материалов).

Экспериментально определив эти характеристики для двух видов пластин – из одного материала (металлический образец) и двух материалов (металлический образец с двухсторонним керамическим покрытием) – можно вычислить по формуле для расчёта жесткости эту же характеристику для керамического покрытия [3].

При растяжении образца формула для расчёта модуля упругости покрытия E_k имеет следующий вид:

$$E_k = [E_B \cdot (b_k \cdot (h_B - h_M) + b_M \cdot h_M) - E_M \cdot b_M \cdot h_M] / [b_k \cdot (h_B - h_M)].$$

При испытании на изгиб формула для расчёта модуля упругости покрытия имеет следующий вид:

$$E_k = [E_B \cdot (b_k \cdot (h_B^3 - h_M^3) + b_M \cdot h_M^3) - E_M \cdot b_M \cdot h_M^3] / [b_k \cdot (h_B^3 - h_M^3)].$$

Для исследования применяли балки прямоугольного сечения 250 · 25 · 2 - 4 мм. Определение модуля упругости образцов при растяжении проводили на установке Р-0,5 а при 4-х точечном изгибе – на установке 9024 ДП 100/1500. В дополнение к датчикам перемещения и прогиба образцов в процессе испытаний измеряли деформации растяжения (сжатия) образцов с помощью системы СИИТ-3 и тензорезисторов типа КФ4.

Расчёт модуля упругости выполняли по формулам.

Растяжение: $E = (dP/d\varepsilon) / F.$

Изгиб (по величине прогиба): $E_{cp} = 0,185 \cdot Lv^3 / (b \cdot h^3) \cdot (dP(y) / dY).$

Изгиб (по величине относительной деформации образца): $E_B = Lv / b \cdot h^2 \cdot (dP / d\varepsilon).$

Испытания образцов на изгиб проводили при ступенчато возрастающих и уменьшающихся нагрузках с регистрацией величины прикладываемой нагрузки и реакции образца по величинам относительных деформаций поверхностных слоёв образца и прогиба.

Экспериментальные зависимости деформаций и прогибов образцов от прикладываемых к ним нагрузок приведены таблице.

Таблица

Материал образца	Способ нагружения						Характер приложения нагрузки
	4-х точеч. изгиб		4-х точеч. изгиб		Растяжение		
	Способ измерения						
	Тензометрия		Прогиб образца		Тензометрия		
	Еобр., МПа	Екер., МПа	Еобр., МПа	Екер., МПа	Еобр., МПа	Екер., МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8
32НК	157573		169931		137744		нагружение
Al ₂ O ₃ + 32НК	51648	35417	48473	32516	79528	21700	нагружение
	58697	44474	49528	33721	84315	31251	разгрузка
Al ₂ O ₃ + 32НК	46742	31880	41230	25353	86349	37287	нагружение
	50111	35677	44561	29120	87643	39817	разгрузка
Выборка	51805	36862	45948	30180	84459	32514	ср. значение
ZrO ₂ + 32НК	25655	7028	22979	3770	70814	4995	нагружение
	23875	4998	21800	2363	71479	6314	разгрузка
ZrO ₂ + 32НК	23636	6521	20800	3081	68271	3780	нагружение
	20890	3426	18664	1673	69705	6546	разгрузка
Выборка	23514	5493	21061	2722	70067	5409	ср. значение

Проведенные исследования подтвердили возможность применения способа косвенного расчета к определению модуля упругости одного из материалов, входящих в составной образец

в виде слоя. Экспериментальные исследования по оценке модуля упругости образцов с разными напыляемыми на металлический образец керамическими материалами позволили сделать вывод о более высокой эффективности метода электротензометрии по сравнению с методом контроля прогиба образца в процессе нагружения. Выполненные расчёты показали, что точность определения модуля Юнга одного из входящих в состав образца материалов в значительной мере зависит от соотношения жёсткостей слоёв материалов, составляющих образец.

Литература

1. Хасуй А. Техника напыления: пер. с япон. – М.: Машиностроение, 1975.–288 с.
2. ГОСТ 9550 – 81. Пластмассы. Методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе.– М.: Изд - во стандартов, 1981.
3. Федосеев В.И. Соппротивление материалов: учебник для втузов.– М.: Наука, 1986.– 512 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПРОЧНОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ С ПОМОЩЬЮ КОНТАКТНЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

В.С.Райлян, Д.В.Алексеев, В.И.Фокин

(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В работе изложены особенности разработки системы задания режимов теплопрочностных испытаний керамических обтекателей ракет при наземной отработке с помощью гибких контактных нагревателей.

В настоящее время для проведения наземных теплопрочностных испытаний головных частей ракет наибольшее распространение получили установки радиационного нагрева [1,2]. Такие стенды обладают рядом достоинств: просты по конструкции и в управлении, позволяют быстро набирать разные конфигурации в зависимости от специфики нагреваемой конструкции.

Однако, несмотря на достоинства, установки радиационного нагрева имеют существенный недостаток. При одновременном воспроизведении теплового и силового режимов нагружающие устройства монтируются под нагревателем, тем самым сильно искажается температурное поле. Погрешность может достигать до 80%. Кроме того, при такой схеме испытания сильно нагреваются приспособления силового нагружения.

Литература

1. Зворыкин Д. Б.,Алексадрова А. Т., Байкальцев Б. П. Отражательные печи инфракрасного нагрева.–М.: Машиностроение, 1985.–176 с.
2. Козырев М. Е. Средства теплового воздействия при прочностных испытаниях элементов конструкции // Всесоюзная научно-техническая конференция по проектированию систем.– М., 1990. – С. 30.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ВИБРАЦИИ И ТЕПЛА НА СОХРАНЯЕМОСТЬ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ УЗЛА СОЕДИНЕНИЯ КЕРАМИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ ОБТЕКАТЕЛЯ С МЕТАЛЛИЧЕСКИМ ШПАНГОУТОМ

В.И.Неповинных, В.Л.Хитрик, А.В.Терехин

(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В процессе наземной отработки новых конструкций головных обтекателей летательных аппаратов одной из главных задач для оценки сохраняемости прочностных свойств конструкции

является проведение исследовательских испытаний, максимально воспроизводящих реальные условия эксплуатации,

Внедрение нового испытательного оборудования в составе электродинамического стенда V8-440T фирмы “LDS” с цифровой системой управления вибрацией LASER и накатной климатической камерой CH2400C-VT позволило создать экспериментальную установку для исследований работоспособности обтекателей в условиях комплексного воздействия высокой температуры и вибраций, получить новые знания о зависимостях характеристик колебательного процесса в системе оболочка – шпангоут от температуры в области резонансных частот.

В результате проведенных исследований на одном из серийно выпускаемых обтекателей определены:

- зависимость собственной частоты резонанса обтекателя от температуры;
- влияние температурных и вибрационных нагрузок на разность амплитуд колебаний между оболочкой изделия и жестко закрепленным шпангоутом на столе вибростенда;
- влияние температурных и вибрационных нагрузок на сдвиг фаз колебаний оболочки изделия относительно его жестко закрепленного шпангоута.

Установлено, что увеличение температуры узла соединения оболочки со шпангоутом приводит при воздействии вибрации к появлению значительного сдвига фаз колебаний оболочки относительно шпангоута (до 180°), что, в свою очередь, обуславливает возникновение больших напряжений в клеевом слое и может вызвать его разрушение.

Выполненные работы подтвердили необходимость более полного учета всех факторов, воздействующих на конструкции летательных аппаратов в процессе эксплуатации, и могут быть применены для разработки методического обеспечения программ исследований других обтекателей для оценки влияния новых конструктивных решений или новых материалов (клеев) на повышение стойкости к комплексному воздействию температуры и вибраций, а также программ ресурсных испытаний.

РАВНОПЛОТНЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАТОНКИХ БАЗАЛЬТОВЫХ ВОЛОКОН

В.Н.Воробьев, Е.М.Каишарова

(ФГУП “ОНИИП “Технология”, г. Обнинск, Россия)

В работе приведены результаты исследований по получению теплоизоляционного материала (ТИМ) методом вакуумного формования с равноплотной структурой по всему объему на основе ультратонких базальтовых волокон и наноразмерного неорганического связующего.

Работа велась в трех направлениях:

- подбор эффективного флокулянта для неорганического связующего, позволяющего минимизировать его потери в процессе изготовления ТИМ;
- оптимизация соотношения ингредиентов, входящих в состав теплоизоляционного материала, позволяющих получить его с заданными теплофизическими и механическими характеристиками;
- разработка технологии получения изделий из нового материала на технологическом оборудовании опытного производства.

На рис. представлены результаты исследований влияния типа флокулянта на сохранение неорганического связующего в материале. Из диаграммы видно, что наилучшие результаты получены при использовании сернокислого алюминия, что и определило его выбор для дальнейшей работы.

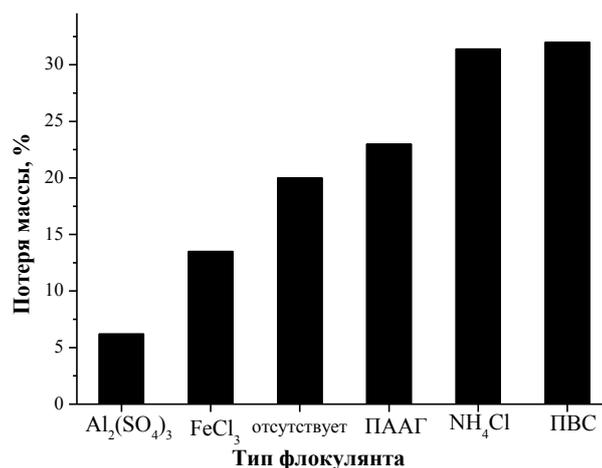


Рис. Зависимость потери массы при формовании материала от типа флокулянта (ПААГ – полиакриламидный гель, ПВС – поливиниловый спирт)

Разработанная технология позволяет получать равноплотную структуру материала в широком диапазоне плотностей от 60 до 300 кг/м³, что дает возможность формовать из него изделия любой степени сложности и точности. Материал может выпускаться в виде плит для строительства и машиностроения, тонкостенных обечаек для лифтовых теплоизолированных труб. Теплопроводность разработанного ТИМ при 20°C и плотности 160 кг/м³ составляет 0,040 Вт/м·К, температура эксплуатации находится в пределах от минус 160 до плюс 700°C.

Все компоненты, входящие в состав нового материала, отечественного производства и достаточно дешевы, а технология производства позволяет исключить операцию обжига готовых изделий, что снижает затраты на энергоемкость процесса и сокращает время технологического цикла, что в совокупности определяет более низкую себестоимость его получения. По цене и качеству изделия вполне конкурентоспособны на рынке сбыта. Преимуществом нового материала также является использование при его производстве экологически нейтрального связующего.

КЕРАМИЧЕСКИЙ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТ С НАНОСТРУКТУРНОЙ МЕМБРАНОЙ

Г.В.Григорьев, В.В.Григорьев, П.Н.Мартынов, Р.Ш.Асхадуллин,

(ГНЦ РФ–ФЭИ им. А.И. Лейпунского, г.Обнинск, Россия),

М.Ю.Русин, Н.Н.Саванина, Л.Н.Русанова (ФГУП “ОНИИП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Загрязнение окружающей среды промышленными отходами в настоящее время достигло опасной черты, за которой негативное воздействие их на природу начинает превышать преимущества технического прогресса. В этой связи разработка высокоэффективного фильтрационного оборудования для очистки жидких и газовых сред является важной задачей.

Доминирующие позиции на мировом рынке фильтрационной техники занимают полимерные фильтры, которые нашли широкое применение, прежде всего, в системах водоочистки и водоподготовки в технологиях пищевой, фармацевтической промышленности, микробиологии, медицине и др. отраслях.

Однако органические фильтры имеют ряд недостатков, которые не позволяют их использование для технических нужд при повышенных температурах и в агрессивных средах. Поэтому востребованными становятся керамические фильтроэлементы, которые имеют следующие важные преимущества перед полимерными фильтрами:

– высокая механическая, химическая, микробиологическая и радиационная стойкость в широком диапазоне температур (вплоть до 1500°C);

- возможность получения керамических фильтров с порами в широком диапазоне размеров и с заданным распределением пор по размерам;
- возможность фильтрации в широком диапазоне дисперсности загрязнений;
- возможность подачи обратных потоков через фильтр и, следовательно, возможность регенерации от механических загрязнений путем промывки;
- возможность регенерации от органических и биологических загрязнений путем высокотемпературной обработки (выжигания);
- большой срок службы.

Целью исследования является разработка технологического цикла получения керамического фильтроэлемента с наноструктурной мембраной из α - Al_2O_3 , сформированной на пористой керамической подложке из потока частиц эрозионной Al-плазмы. Представляемая технология нанесения мембраны базируется на методе катодно-ионной бомбардировки с использованием катода из алюминия чистотой 99,996%.

В качестве пористой подложки в работе использовали трубчатые изделия с внешним диаметром 70 мм, толщиной стенки 5 мм и высотой 250 мм из керамики на основе волластонита с открытой пористостью до 50%.

Процесс нанесения наномембран оксидного класса на пористую керамическую подложку в вакууме ($P \sim (1-8) \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст.) состоит из трех стадий:

- “холодное” осаждение частиц эрозионной Al-плазмы в течение 9-10 мин. на поверхности подложки при температуре последней 100-150°C;
- конкурирующее осаждение, когда процесс осаждения частиц плазмы на фильтроэлемент сопровождается испарением частиц с его поверхности, в течение 5 мин.;
- разогрев фильтроэлемента до 600-800°C в течение 15-20 мин., сопровождающийся выходом летучих веществ через формирующуюся мембрану.

Общее время получения качественной наномембраны на керамической подложке составляет 310 мин.

Создан принципиально новый мембранный керамический фильтроэлемент со следующими характеристиками:

- производительность по очищаемой жидкости – 0,1 м³/час;
- эффективность очистки от взвесей – 99,99 %;
- тонкость фильтрования – 0,1-0,3 мкм;
- максимальный размер субзерна структуры мембран – 10 нм;
- максимальная толщина Al_2O_3 – мембран – 12 мкм.

Фильтроэлемент предназначен для тонкой очистки и переработки технических агрессивных жидкостей при повышенных температурах.

НАНОСТРУКТУРНЫЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ СО СВЕРХНИЗКОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬЮ

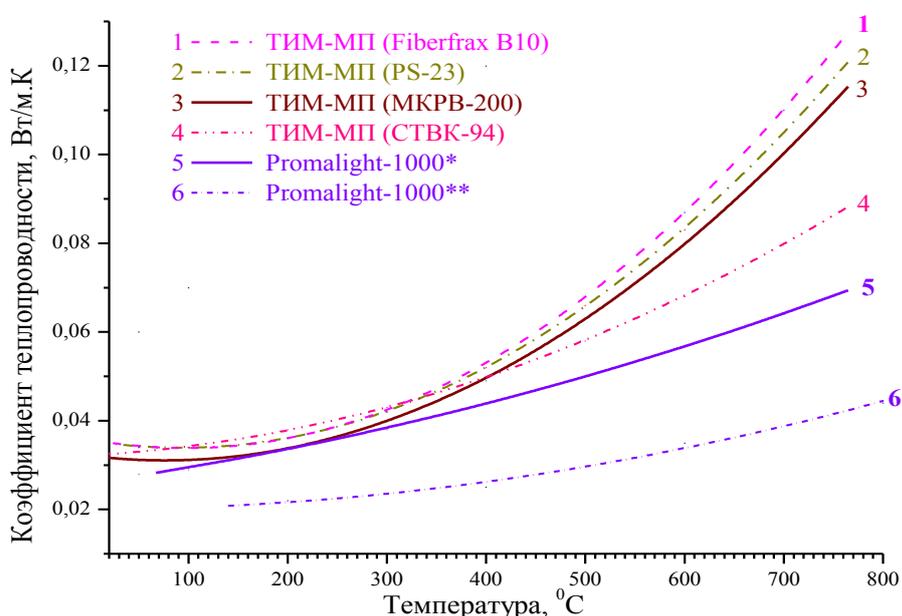
Г.Р.Арутюнян, О.В.Томчани, В.П.Павлова, Г.С.Шуль
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Являясь одной из ведущих держав мира по производству энергии, Россия значительно уступает экономически развитым странам в вопросах рационального использования энергоресурсов. Важная роль в решении проблемы энергосбережения принадлежит высокоэффективным теплоизоляционным материалам. К таким материалам относится разработанный в ФГУП “ОНПП “Технология” наноструктурный теплоизоляционный материал ТИМ-МП, по своим теплофизическим свойствам превосходящий волокнистые теплоизоляционные материалы [1].

Основным веществом в составе ТИМ-МП является высокодисперсный пирогенный диоксид кремния с размерами частиц от 5 до 20 нм. Для улучшения механических свойств материала и исключения лучистой составляющей теплопроводности при повышенных температурах в состав шихты вводятся вспомогательные добавки.

Технология получения ТИМ-МП заключается в прессовании до заданной плотности тщательно перемешанных компонентов шихты в разработанном перемешивающем устройстве якорно-лопастного типа. На конструкцию устройства подана заявка на изобретение и получено решение о выдаче патента. Отформованное изделие обжигается при высокой температуре в течение 2-4 часов.

На рис. 1 представлена температурная зависимость коэффициента теплопроводности (λ) теплоизоляционного материала ТИМ-МП от типа волокна, входящего в его состав. Для сравнения на рисунке приведены значения λ для микропористого теплоизоляционного материала Promalight-1000, предоставленные фирмой “Promat” и измеренные в ФГУП “ОНПП “Технология”.



* - данные ФГУП “ОНПП “Технология”.

** - данные фирмы “Promat”.

Рис.1. Температурная зависимость коэффициента теплопроводности теплоизоляционного материала ТИМ-МП, армированного различными типами волокон

Из данных рис. 1 следует, что коэффициент теплопроводности материала ТИМ-МП слабо зависит от типа армирующих волокон. Для дальнейших работ нами выбрано кремнеземное волокно марки PS-23, так как материал на его основе имеет наиболее высокие прочностные характеристики. Следует отметить, что коэффициенты теплопроводности материала фирмы “Promat”, измеренные по методике ФГУП “ОНПП “Технология”, в диапазоне температур 20-300°С совпадают с результатами, полученными для материала ТИМ-МП. Коэффициент теплопроводности разработанного теплоизоляционного материала ТИМ-МП при нормальных условиях практически равен теплопроводности воздуха и почти в 2 раза ниже значений для волокнистого материала ТЗМ-23М.

Подтверждением сверхнизкой теплопроводности материала ТИМ-МП стали проведенные в ОАО “Спецприбор” испытания, г.Тула, которые показали, что при одинаковых толщинах

теплоизоляционных материалов ТИМ-МП и ТЗМ-23М температура на поверхности материала в первом случае устанавливалась значительно ниже, даже при большем нагреве и длительности его воздействия.

На рис. 2 представлены образцы материала ТИМ-МП в виде панелей размерами 200x200x20 мм. На V международной выставке “Наноиндустрии” материал ТИМ-МП награжден Почетным дипломом и золотой медалью.



Рис. 2 . Образцы материала ТИМ-МП

В настоящее время проводятся исследования по разработке технологии изготовления опытных образцов деталей из материала ТИМ-МП для блока защищенного модуля памяти (ЗМП) регистратора летной информации.

Литература

1. Прибил М., Спицин А, Красселт В. Особые достоинства микропористых материалов // Огнеупоры и техническая керамика.– 2005.– № 2.– С.124-128.

ПОРИСТЫЕ ПОДЛОЖКИ НА ОСНОВЕ ОКСИДА АЛЮМИНИЯ

Н.Н.Саванина, Л.И.Горчакова, М.К.Алексеев, А.А.Жуков
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Производство керамических пористых материалов, имеющих удовлетворительную механическую прочность, является актуальной задачей. Пористые керамические подложки используются при обжиге керамической пленки, различных элементов электронной техники. Керамические подложки должны обладать высокой открытой пористостью, механической прочностью, высокой термостойкостью, химической стойкостью, иметь хорошее качество поверхности, невысокую цену. Наиболее полно комплексу этих требований отвечает алюмооксидная керамика.

Для изготовления тонких пластин целесообразно применять технологию полусухого прессования порошковой массы в металлической форме, в качестве связующих компонентов удобно использовать водные растворы полимеров, в частности поливинилового спирта, возможно использование фосфатных связующих, жидкого стекла. Для улучшения формовочных свойств керамической массы в нее можно добавлять пластификаторы, в частности глинистые компоненты – бентонит, глина, каолин.

В качестве основного материала для изготовления керамических пористых подложек применяется предварительно обожженный и измельченный глинозем. Применение глинозема в качестве основы пористой керамики обеспечивает однородную мелкопористую структуру керамики, хорошее качество поверхности. Для снижения температуры спекания керамики целесообразно вводить упрочняющие спекающие добавки. Такими добавками могут быть глинистые компоненты, одновременно выполняющие роль пластификаторов, металлы, образующие в процессе обжига тонкодисперсные, активные к спеканию оксиды, неорганические соединения, образующие при спекании жидкую фазу.

Добавки глинистых компонентов, обеспечивающие сравнительно низкую температуру обжига, улучшающие пластические свойства массы, вводят в количестве 20-30% масс. Необходимо иметь в виду, что все глинистые компоненты являются ультрадисперсными системами, влияющими на поровую структуру керамики, и на ее физико-технические характеристики.

Для создания пористых подложек на основе оксида алюминия с высоким уровнем свойств и высокой химической стойкостью в качестве активного к спеканию компонента могут быть использованы ультрадисперсные порошки глинозема с размером частиц менее 1 мкм, получаемые измельчением глинозема либо специальными химическими методами.

Чтобы обеспечить упрочнение керамики при сравнительно низкой температуре спекания без существенного изменения поровой структуры, можно использовать упрочняющую добавку оксидов магния и кремния, либо оксида магния и карбида кремния в количестве 1 - 3 % мас. Однако необходимо учитывать, что образующиеся компоненты, способствующие спеканию и упрочнению керамики, могут отрицательно повлиять на ее термостойкость, огнеупорность и химическую стойкость.

Для регулирования пористости керамики можно использовать добавки, частицы которых сами имеют пористость, в частности, глинозем, состоящий из округлых частиц – сферолитов, размерами порядка 50 мкм и пористость около 50 %. Эти частицы достаточно прочные, практически не разрушающиеся при технологических переделах. Сферолитный глинозем целесообразно вводить в количестве 10-15 % масс.

В качестве порообразующего компонента может быть использован гидроксид алюминия, потери массы его при обжиге составляют до 35%. При разложении тонкодисперсного гидроксида алюминия образуется активный оксид алюминия, способствующий спеканию и упрочнению керамики. Гидроксид алюминия следует добавлять в количестве 10-20 % масс.

Для улучшения термостойкости керамики, регулирования ее поровой структуры, в состав целесообразно вводить 20-40 % масс. молотого электрокорунда.

Температура обжига керамических пористых подложек составляет 1400-1550°C, открытая пористость, в зависимости от зернового состава, 30-45 %, прочность при изгибе не менее 30 МПа.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОИСТЫХ СТРУКТУР С ГАЗОПЛОТНЫМ ТВЕРДЫМ ЭЛЕКТРОЛИТОМ НА ОСНОВЕ ZrO_2 ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ

Е.А.Кораблева, В.С.Якушкина, В.В.Викулин, М.Ю.Русин, Н.Н.Саванина, Е.В.Некрасов (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В последнее время большой интерес у разработчиков электрохимических устройств вызывают твердые электролиты на основе диоксида циркония. Твердые электролиты представляют собой твердый раствор ZrO_2 с добавками оксидов иттрия, церия, магния, алюминия и других металлов, обладают ионной проводимостью по кислороду. Уникальное сочетание высоких термомеханических и проводящих свойств материалов на основе стабилизированного

диоксида циркония (СДЦ) обусловило широкое применение их в качестве твердых электролитов для высокотемпературных электрохимических устройств различного назначения:

- электролизеры воды для получения водорода – экологически чистого эффективного энергоносителя;
- топливные элементы для получения эффективной электрической энергии с использованием дешевого природного топлива;
- кислородные насосы для переноса кислорода в атмосфере и при электролизе расплавов;
- датчики контроля кислорода для оптимизации процессов литья конструкционных высококачественных сталей, для минимизации выбросов вредных веществ в автомобильных двигателях и для оптимизации и контроля процессов в химических и энергетических ядерных установках.

Для создания электрохимических устройств требуются твердые электролиты, обладающие высокими термомеханическими и проводящими свойствами при длительном применении в агрессивных средах эксплуатации в широком температурном интервале. Существует много конструктивных предложений по организации работы твердого электролита. В данной работе выполнено исследование по изучению слоистой структуры, состоящей из слоя твердого электролита состава ZrO_2 -8-10мол% Y_2O_3 (ЧСЦ) и слоя катодного материала LSM (LaO , 85SrO, 15MnO₃). Использование наноразмерных химосажденных порошков ЧСЦ позволяет получать слоистую структуру из газоплотного ZrO_2 и пористого катодного слоя из LSM при совместном спекании. Полученные данные говорят о том, что в пленке ЧСЦ происходит сохранение наноструктуры в твердом электролите после спекания. Кроме того, химическая активность нанопорошков позволяет спекать твердый электролит до газоплотного состояния при более низких температурах, чем поликристаллический материал.

РАЗРАБОТКА КЕРАМИЧЕСКОЙ КОЛОДКИ ДЛЯ ПЛАНАРНЫХ ДАТЧИКОВ КИСЛОРОДА

Е.А.Кораблева, Е.В.Некрасов, И.Н.Бизин, А.А.Жуков
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Датчики кислорода на основе диоксида циркония широко применяются в технике. Наибольший потребитель – это автомобильная промышленность. Кроме того, они используются в различных системах сжигания топлива (котловые датчики кислорода) для увеличения КПД, в системах жизнеобеспечения пилотов в авиации и космонавтике. Первоначально датчики кислорода исполнялись в виде объемных изделий: пробирки или цилиндры с герметизирующими пробками, проволочными электрическими выводами, проволочными нагревателями. В настоящее время изготовление датчиков кислорода перешло на планарную технологию, когда изделие состоит из нескольких керамических пленок из диоксида циркония с нанесенными на них трафаретной печатью электрическими проводниками и изоляторами. Планарная технология удешевляет производство, и изготовление различных конструкций датчиков происходит в единообразном процессе с использованием серийного оборудования, используемого в электронной промышленности.

Известно несколько конструкций датчиков. Принципиальным различием этих конструкций является то, что используется в качестве эталона. В автомобильных датчиках в качестве эталона используется атмосферный воздух. В приложениях, где окружающая среда не может являться эталоном, приходится его создавать и поддерживать. Функционально датчик кислорода может состоять из некоторой комбинации следующих элементов: измерительная ячейка, нагреватель, кислородный насос, датчик температуры. В результате эти конструкции отличаются количеством электрических выводов: от 4-х до 8-ми. Возникает задача разработки универсального

электрического соединителя – электрической колодки для соединения датчика кислорода с вторичным прибором.

Корпус предлагаемой электрической колодки (рис.) состоит из двух симметричных элементов, которые в сложенном состоянии образуют приемное отверстие, соответствующее геометрии датчика.

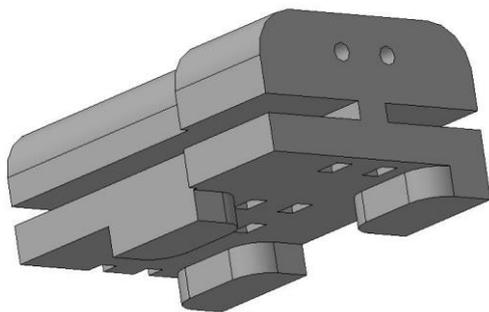


Рис. Электрическая колодка датчика кислорода

В корпусе колодки предусмотрена система каналов (от двух до четырех), которые расположены таким образом, чтобы исключить замыкание контактов. Для ограничения перемещения датчика по глубине отверстия на корпусе колодки имеется упор; боковое перемещение ограничивается приливами, что предотвращает чрезмерное сдавливание датчика при сборке колодки.

На корпус колодки надевается специальная металлическая пружина, собирающая обе половины колодки и датчик в одно целое и обеспечивающая оптимальный прижим контактов датчика к контактам колодки.

Следует отметить, что предлагаемая конструкция колодки универсальна и может комплектоваться датчиками с числом контактов от четырех до восьми.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА НАНОРАЗМЕРНЫХ ПОРОШКОВ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ НА СВОЙСТВА ГАЗОПЛОТНОЙ ТВЕРДОЭЛЕКТРОЛИТНОЙ КЕРАМИКИ

Е.А.Кораблева, В.С.Якушкина, С.А.Короткий, Н.Н.Саванина
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В последние годы резко возрос интерес к диоксиду циркония в связи с энергетическими проблемами. Решение этих проблем требует поиска новых альтернативных источников энергии. Уже сейчас в ведущих странах мира создаются топливные элементы с керамическим оксидным электролитом (SOFC) из диоксида циркония, стабилизированного оксидом иттрия. Эти элементы позволяют непосредственно превращать химическую энергию топлива в электрическую с коэффициентом эффективности 60–70 %.

Главные проблемы, которые предстоит решить для развития этого вида энергетики – это повышение срока службы и эффективности работы, снижение рабочей температуры и стоимости энергетических устройств на основе топливных ячеек. Для решения этих задач в качестве исходных используются наноразмерные порошки диоксида циркония.

Для получения порошков особенно эффективен метод химического осаждения. Основные его преимущества перед другими – низкая себестоимость продукции и возможность получения порошков заданного состава в промышленных масштабах. Однако наряду с преимуществами этот метод имеет и существенный недостаток, порошки, получаемые таким способом, имеют высокую степень агрегации и агломерации продуктов осаждения и прокаливания осадков, а также широкий спектр размеров как первичных частиц, так и агломерированных.

Поэтому проведение исследования по уменьшению степени агрегации и агломерации химосажденных порошков твердого электролита является актуальным и важным для создания газоплотной твердоэлектrolитной керамики.

Технология получения порошка включает в себя:

- получение гелеобразного осадка гидроксида циркония $Zr(OH)_4 \cdot nH_2O$ в результате взаимодействия хлористых солей циркония с водным раствором аммиака;
- сушку при температуре 100-250°C с превращением гидроксида в аморфный ZrO_2 ;
- кристаллизацию частиц ZrO_2 при температуре 800-1100°C.

Установлено, что размер будущих кристаллических частиц ZrO_2 закладывается уже в гелеобразном осадке гидроксида в результате полимеризации, а также в процессе сушки осадка гидроксида циркония.

Точный контроль параметров синтеза наноразмерных порошков (температура гелирования) и введение дополнительной операции гомогенизации в технологический процесс осаждения позволили уменьшить степень агломерации частиц в порошке и уменьшить температуру спекания керамики до газоплотного состояния с сохранением наноструктуры.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ НАНОКРИСТАЛЛИТОВ И ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРНОГО ФАКТОРА НА СПЕКАЕМОСТЬ ТВЕРДОЭЛЕКТРОЛИТНОЙ КЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ ZrO_2

А.С.Ермолаев, Е.А.Кораблева, Л.А.Плясункова
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Современное развитие электроники от сотовых телефонов до портативных компьютеров требуют разработки новых альтернативных источников питания. Практически все аналитики и разработчики источников энергии сходятся в том, что надежду в этой области следует возлагать на так называемые твердые оксидные топливные элементы (ТОТЭ)[1].

Ячейка состоит из твердого электролита на основе ZrO_2 в кубической кристаллической фазе, катода на основе манганита лантана стронция (LSM) и анода – оксид никеля. Твердый электролит должен быть газоплотным, а электродные материалы – пористые. Чтобы создать пленочную слоистую структуру LSM/ ZrO_2 /оксид никеля необходимо решить материаловедческую задачу совместного спекания слоев. Это возможно при использовании наноразмерных порошков. Размер зерна в керамическом твердом электролите состава ZrO_2 , 8 – 10 мол % Y_2O_3 с кубической кристаллической фазой существенно влияет на термомеханические свойства. Для увеличения спекаемости и прочностных свойств кубической фазы ZrO_2 необходимо сохранение наноструктуры в твердом электролите. В работе использовали керамические материалы из химосажденных наноразмерных порошков, полученных при различных параметрах проведения реакции.

Для определения размеров кристаллитов, параметров распределения по размерам, величины микродеформаций использовалась рентгенографическая методика исследования нанокристаллических материалов, основанная на анализе формы и уширения дифракционных пиков.

Исследования проводились на дифрактометре рентгеновском общего назначения ДРОН-6,0 с использованием программного пакета PDWin-4.

Микродеформацию и размер кристаллитов определяли методом Вильямсона и Холла [2] по формуле

$$\beta = \lambda/L \cdot \cos\theta + 4 \cdot \varepsilon \cdot \operatorname{tg}\theta,$$

где λ – длина волны рентгеновского излучения, нм;

L – эффективный размер кристаллитов, нм;

ε – микродеформация;

θ – угол отражения, град;

β – ширина рентгеновского пика на половине высоты, рад.

Применение этого метода определения размеров кристаллитов и их распределения по размерам позволило оценить влияние параметров получения порошков диоксида циркония на свойства спеченной керамики, применяемой в качестве газоплотного твердого электролита.

Литература

1. Modern Status and Future of SOFC, Lipilin A.S., Ceramic Materials Research Trends Editors: Paul B. Lin Chapter 5, Nova Publisher, 2007.– PP. 139-158.

2. Williamson G. K., Hall W. H. X-ray line broadening from filed aluminium and wolfram //Acta Metall.– 1953.– V.1.– P.22–31.

ИЗДЕЛИЯ ИЗ ВОЛЛАСТОНИТА ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ УСТАНОВОК АЛЮМИНИЕВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Л.Н.Русанова, Н.Н.Саванина, Л.И.Горчакова
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В России практически не производят специальных керамических комплектующих для современных установок алюминиевого литья. Поэтому разработка отечественных керамических материалов на основе волластонита для нужд алюминиевой промышленности является актуальной задачей.

В настоящей работе реализована технология получения керамики на основе природных порошков волластонита методами формования керамических порошковых масс либо водного шликерного литья с последующим обжигом. Порошок волластонита после обогащения содержит от 85 до 98 % масс основного компонента. Средний размер частиц порошков различных марок от 3 до 100 мкм, соотношение длины и диаметра частиц от 4:1 до 16:1, эти параметры зависят от условий получения порошков из природного минерала.

Представляется весьма перспективной разработка технологии получения изделий с применением тонкодисперсных длинноигльчатых порошков. Изделия из них демонстрируют высокую термостойкость, длительный ресурс работы в условиях циклического воздействия расплава, а главное, не склонны к катастрофическому разрушению после появления первых трещин.

Так, применение в качестве основного компонента для тепловых насадок волластонита марки “Супер” 05-97 привело к увеличению ресурса работы изделия в два раза в сравнении с изделиями из волластонита марки ВП-2.

Из тонкодисперсных порошков волластонита с высоким содержанием длинноигльчатых частиц получена керамика со свойствами, близкими к свойствам импортной керамики, изготовленной гидротермальным синтезом.

Структура и свойства керамики, получаемой из природного волластонита, зависят от количества и природы плавней – полевых шпатов, пироксенов и др., всегда сопутствующих основному компоненту, а также от дополнительно введенных спекающих добавок, образующих при взаимодействии с основными компонентами стеклофазу. Применение порошков волластонита с большим содержанием тонкодисперсной фракции, обладающих высокой активностью к спеканию, приводит к заметному повышению механической прочности керамики при минимальном содержании спекающей добавки либо вообще без таковой.

Разработан ряд керамических материалов на основе волластонита для нужд алюминиевой промышленности. Свойства керамических материалов на основе волластонита могут

варьироваться в значительных пределах: плотность 1,0-1,8 г/см³, прочность при сжатии 2-45 МПа. Падение прочности после однократного нагрева-охлаждения в воде начинается при 500°С (18 %), в интервале температур от 600 до 900°С потери прочности составляют 34 %, при 1000°С – около 50 %.

Теплопроводность 0,1 – 0,7 Вт/м·К, и в интервале температур 20 – 700°С практически не изменяется. Средний коэффициент термического расширения в интервале температур 20 – 700°С составляет $(50 - 60) \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Эффективным способом повышения термостойкости керамики является введение в ее состав неорганических волокон. С применением неорганического волокна получена керамика в широком диапазоне плотности от 0,5 до 1,5 г/см³, с прочностью на сжатие $\sigma_{сж} = 0,5 - 10$ МПа. Образцы композиционной керамики с кремнеземным волокном при термоциклировании на воздухе показали практически неограниченную термостойкость, а при испытании на контактное взаимодействие с расплавом алюминия – несмачиваемость, отсутствие трещин при многократном погружении в расплав.

На базе разработанных материалов и технологий освоен выпуск широкого ассортимента изделий из керамики на основе волластонита.

Для установок горизонтального литья серийно производятся керамические вставки нескольких типоразмеров и переходные плиты. Для установок вертикального литья изготавливаются тепловые насадки различной формы и типоразмеров – кольцевые, цилиндрические и сложной формы. Изделия должны иметь высокую термостойкость, механическую прочность, обеспечивать точность геометрической формы и хорошее качество поверхности алюминиевой отливки. Изделия различного состава и формы выдерживают от 10 до 100 циклов разлива металла.

Подводящие лотки, мостики-лотки выдерживают не менее 20 рабочих циклов, не уступая импортным аналогам.

Освоено производство крупногабаритных и фасонных изделий на основе волластонита для элементов металлопровода – желобов различной конфигурации, футеровочных плит. Изделия должны обеспечивать теплоизоляцию расплавленного металла, химическую стойкость к расплаву алюминия, износостойкость, высокую термостойкость. Ресурс эксплуатации не уступает импортному аналогу и составляет не менее 1,5 месяцев.

Для установок разлива алюминия завода разработаны и поставляются дюзы различных типоразмеров. На установках литья под низким давлением на различных предприятиях успешно работают элементы футеровки – трубы, цилиндрические и конические втулки длиной до 300 мм.

Для систем автоматического регулирования уровня металла из материалов на основе волластонита и неорганического волокна нами были изготовлены поплавки-дозаторы различной формы. Для поплавок предпочтительна керамика с минимальной плотностью, чем ниже плотность, тем точнее регулирование уровня расплава, излишний вес конструкции ведет к большой осадке в расплаве. Изделия имеют плотность 0,8-1,2 г/см³.

В ФГУП “ОНПП “Технология” налажен серийный выпуск широкого ассортимента изделий из волластонита, накоплен опыт промышленного использования нашей продукции предприятиями, занимающимися переработкой алюминия.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНТЕЙНЕРА ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ РАСПЛАВА АЛЮМИНИЯ ИЗ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВОЛЛАСТОНИТА И БЕТОНОВ

Г.И.Куликова, М.К.Алексеев, М.М.Цветкова, И.Н.Бизин
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Огнеупоры являются необходимой составной частью основных фондов металлургического производства, без которых невозможна высокотемпературная обработка металлов.

Большой удельный вес в объеме огнеупоров алюминиевой промышленности приходится на крупногабаритные секции, блоки, плиты, желоба и другие футеровочные и конструкционные элементы, с помощью которых формируют алюмотракты для транспортировки расплава.

Важнейшими требованиями к огнеупорной оснастке алюмопроводов являются отсутствие взаимодействия с расплавом алюминия и шлаками, а также высокая термостойкость и износостойкость без разрушения в процессе эксплуатации во избежание засорения металла керамическими включениями.

Для исключения попадания огнеупорного материала и шлака в металлические слитки в линии алюмопровода установки непрерывного литья столбов предусматривается керамический контейнер для фильтра, где и происходит фильтрование расплава перед подачей его в кристаллизаторы. Конструкция такого контейнера в литейном агрегате “Hertwich Engeneering” (Австрия) представлена на рис.

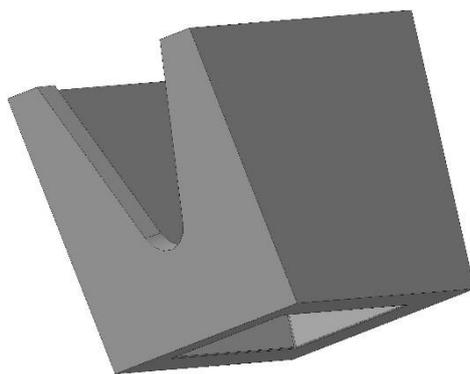


Рис. Изделие “контейнер фильтра”

Это крупногабаритное и сложнопрофильное изделие с посадочным гнездом под керамический фильтр размером 150 x 150 мм, который устанавливается в нижней части контейнера. Оно должно иметь точные геометрические размеры для плотной посадки фильтра и обеспечения монтажа самого контейнера в распределительном коробе.

Зарубежная фирма-изготовитель литейной машины поставляет предприятию ООО “Агрисовгаз” (г. Малоярославец) контейнеры из волластонита, получаемые по автоклавной технологии. Авторы настоящей работы для изготовления отечественного контейнера использовали природные порошки волластонита и, как второй вариант, бетонные смеси на основе глиноземистого цемента и легковесных наполнителей.

Формование изделия осуществляли способом литья в гипсовые формы водных шликеров из волластонита и в металлические формы – из бетонных смесей. Разработку оснастки для формования проводили с учетом усадочных коэффициентов материалов на всех технологических стадиях в расчете на изготовление изделий с точными геометрическими размерами без механической обработки на станках.

Водный шликер на основе волластонита готовили мокрым помолом смеси порошков при соотношении компонентов ~ волластонит: пластифицирующие добавки ~ 75:25. Влажность

шликера ~ 30% масс. Для повышения термостойкости керамического материала в шликер вводили неорганический волокнистый наполнитель в количестве до 5% масс.

Заливочные бетонные массы готовили увлажнением смесей на основе глиноземистого цемента и легковесных наполнителей (шамот, вермикулит) до влажности ~ 28-30%. Заполнение металлической формы осуществляли на вибростоле для обеспечения большей подвижности и текучести гидромассы и равномерного распределения ее внутри формовой оснастки.

Время нахождения отливок как в гипсовой, так и в металлической форме ~ 1 сутки. После сушки изделий на воздухе в течение не менее суток проводили принудительную сушку при 100-120°C, а затем – обжиг до температуры 950-1000°C.

Экспериментальные контейнеры из материалов на основе волластонита и бетонов были испытаны в заводских производственных условиях на предприятии ООО “Агрисовгаз”, где продемонстрировали работоспособность на уровне импортных аналогов.

МИКРОПОРИСТЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ УЛЬТРАФИЛЬТРОВ

М.К.Алексеев, Л.И.Горчакова, Г.И.Куликова
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Перспективным направлением в промышленной очистке воды и других жидкостей от микровзвесей и мицелл органических и неорганических загрязнений является метод фильтрования через тонкие керамические пленки (10-15 мкм) с порами, размер которых лежит в области долей микрона (0,1-0,3 мкм) и менее. Однако такие керамические пленки-мембраны нуждаются в носителе, в роли которого может использоваться пористая керамика.

При решении задач формирования фильтрующих неорганических пленок на поверхности керамических материалов возникает потребность в керамике со специфическим набором физико-химических и технико-экономических свойств и показателей. Этот комплекс характеристик включает химическую и биологическую стойкость, высокую однородную мелкую открытую пористость при низком гидравлическом сопротивлении, а также легкость механической обработки с обеспечением точных размеров изделий и хорошего качества рабочих поверхностей с низкой шероховатостью и малым количеством крупных дефектов.

Обнадеживающие результаты в разработке керамических подложек для мембранных фильтров были достигнуты при использовании керамики на основе волластонита, в целом обладающей большинством из требуемых качеств. Однако эта керамика имеет существенное ограничение – ее применение проблематично для сред с низким рН, вызывающих, как правило, вымывание кальция из состава керамики и, соответственно, изменение ее свойств со временем.

Как альтернатива волластонитовой керамике, в ОНПП “Технология” был разработан материал алюмосиликатного состава с минимальным содержанием оксидов одно- и двухвалентных металлов, который сходен с волластонитовой керамикой по комплексу технических характеристик, но имеет повышенную химическую стойкость и биологическую инертность.

Изготовление такого материала базируется на технически доступных порошках чистого гидрата глинозема и каолинита, подвергаемых специальной термической обработке – до 700°C. При этом формируется микропористая структура частиц, которая определяет, соответственно, структуру керамики. В качестве спекающей добавки в настоящей работе были использованы высокодисперсные порошки соединений бора в количестве до 1 % масс.

Технология изготовления керамических изделий – подложек для мембран, предусматривает использование полусухого прессования шихты в стальных формах, обжиг изделий в электропечах до 1200°C, затем – точную механическую обработку рабочих поверхностей обычным металлорежущим инструментом.

Разработанный материал алюмосиликатного состава имеет плотность 1,8 – 2,0 г/см³ и полностью открытую пористость – до 50%. Электронно-микроскопическое изучение керамики показало, что материал имеет тонкую однородную структуру с максимальным размером пор и зерен менее 20 мкм.

Предварительные испытания подложек из разработанного материала в составе фильтроэлемента с нанесенной алюмооксидной мембраной показали перспективность применения такой керамики в ультрафильтрах, обеспечив высокую степень очистки воды – до 99,9%.

Следует отметить, что разработанный материал алюмосиликатного состава может быть также использован и в качестве самостоятельного фильтра в системе предварительной водоочистки.

ЛИТЫЕ ОГНЕУПОРЫ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИИ И КЕРАМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Т.М.Храновская, Н.Н.Саванина, М.Ю.Русин
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В ФГУП “ОНПП “Технология” разработана технология получения огнеупорных изделий методом литья из концентрированных суспензий в гипсовые формы. Основные сырьевые материалы – белый электрокорунд и плавленный муллит. Для тонкомолотой матричной части материала, создающей непрерывную среду огнеупора, как правило, используется электрокорунд, измельченный в шаровой мельнице. Считается, что матрица определяет практически все основные эксплуатационные свойства материала. В качестве зернистого заполнителя применяется композиция из электрокорунда и плавленного муллита. Плавленный муллит – крупный заполнитель, создает каркас изделия и влияет на прочность при сжатии и термостойкость материала. Средний и мелкий заполнитель – композиция плавленного муллита и зернистого электрокорунда, влияет и на реологические свойства суспензии. Разработанная технология позволяет получать изделия со стабильными свойствами. Для металлургии изготавливаются тигли для плавки чистого никеля и жаропрочных никелевых сплавов, охранные стаканы для индукторов и изложниц. Для печей обжига в керамической промышленности – горелочные камни цельные и составные, элементы огнеупорной футеровки сложной конфигурации с отверстиями под нагреватели и термопары и др. В условиях рыночной экономики и высокой конкуренции для производителей огнеупоров большое значение имеет стабильное качество выпускаемой продукции. Стабильность технологии определяется качеством применяемого сырья, четкостью соблюдения на всех технологических переделах требований разработанных нормативных документов. Реальное качество и конкурентоспособность огнеупоров определяются в процессе покупательского выбора и эксплуатации. В ФГУП “ОНПП “Технология” применяется практика, когда разработчики материала проводят испытания изделий, изготовленных по специальным заказам, вместе с потребителями. В процессе испытаний отрабатывается конструкция изделий, уточняется состав материала и соотношение матричного тонкомолотого материала и зернистого заполнителя, корректируются условия эксплуатации.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КЕРАМИКИ НА СТАДИИ ПРОИЗВОДСТВА

В.В.Викулин, Д.А.Бубало, Н.П.Григоренко, В.Б.Петров
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Для решения ряда задач при производстве изделий, например, таких как управление качеством и управление жизненным циклом изделия, неотъемлемой частью является применение совокупности принципов и технологий информационной поддержки изделий.

Ключевым моментом при информационной поддержке изделия является описание изделия и всех процессов (бизнес-процессов) его производства в электронном виде. При этом обязательным условием является наличие механизмов обеспечения версионности для решения задач управления конфигурацией изделия. Представление данных об изделии описывает комплексную технологию управления данными об изделии. Данные должны быть представлены в виде репозитория (хранилища), роль которого может выполнять база данных или электронный документ. Для решения задач информационной поддержки изделий в условиях ФГУП “ОНПП “Технология” применяется система управления данными об изделии PDM STEP Suite (PSS).

При использовании технологий управления данными об изделии на стадиях производства возникает необходимость в информационном описании экземпляров изделий, т.е. описания непосредственно каждого выпущенного изделия того или иного типа и каждой выполненной операции. На стадии производства это позволяет создать так называемый “электронный технологический паспорт” на изделие (ЭПТИ), содержащий сведения о конкретном составе экземпляра изделия и его свойствах (характеристиках). Ведение электронных технологических паспортов экземпляров изделий является одной из задач интегрированной логистической поддержки, позволяющей отслеживать состояние изделия, производственных процессов, и в дальнейшем получать информацию о событиях, произошедших с изделием в процессе эксплуатации (например, об отказах).

Для описания изделия PSS использует объект “Изделие” (Product). Информация о производстве изделия в системе PSS представлена в виде древовидного графа, вершиной которого является объект “Изделие” (Product). Конечное изделие и его компоненты рассматриваются как самостоятельные изделия, имеющие связь в виде “вхождения” в состав. Одно и то же изделие может входить в несколько других изделий, что задается соответствующими отношениями входимости. В структуру графа также входят версии изделия и экземпляры изделия. Процесс производства изделия описывается в электронном технологическом паспорте изделия. Реализация процесса для конкретного экземпляра изделия представлена в электронном технологическом паспорте экземпляра изделия (ЭПТЭИ). Для программной реализации автоматизированного создания электронного технологического паспорта экземпляра изделия существует шаблон технологического паспорта экземпляра изделия.

В системе PSS ЭПТИ и шаблон ЭПТЭИ привязаны к версии изделия. ЭПТЭИ привязан к экземпляру изделия. Производственные процессы описываются с помощью объектов, представляющих значения характеристик, ресурсы, статусы и документы. При описании производства изделия в PSS используются объекты из нескольких справочников:

1. Справочник изделий классифицирует изделия, изготавливаемые на предприятии и поставляемые заказчиком;
2. Справочник составных частей изделий содержит информацию о всех изделиях, не являющихся ресурсами, изготавливаемых и покупных, используемых при производстве других изделий;
3. Справочник материалов содержит информацию о ресурсах: материалах и полуфабрикатах, используемых при производстве изделий;

4. Справочник технологического оснащения содержит информацию об изделиях-ресурсах оригинального оснащения, приспособлений, инструментов и оборудования;

5. Справочник бизнес-процессов содержит описание процессов производства изделия в виде ЭПТИ;

6. Справочник организационной структуры содержит информацию о подразделениях и сотрудниках предприятия, необходимую для создания статусов и утверждения документов.

Описание структуры изделия приводится последовательно по иерархии объектов сверху-вниз. Структура изделия сформирована на основе принципов CALS-технологий и с учетом анализа производственных процессов и конструкторско-технологической документации предприятия.

Справочник бизнес-процессов описывает процессы при производстве изделий. Технологический процесс на изготовление изделия в справочнике представлен двумя способами:

- маршрутное-операционное описание согласно маршрутной карте техпроцесса;
- описание контрольных операций согласно технологическому паспорту техпроцесса.

В ходе апробации системы PSS был выполнен сбор производственных данных радиопрозрачных керамических обтекателей. В результате статистического анализа было выполнено:

1. Проведен сбор и обработка информации по параметрам технологического процесса изготовления радиопрозрачных обтекателей;

2. Оценены точность и стабильность технологического процесса изготовления радиопрозрачных обтекателей;

3. Выявлено, что необходима корректировка границ допуска ряда выходных параметров;

4. Оценен процент брака по технологическим операциям.

Благодаря централизованному структурированному хранилищу данных в PSS работа по предоставлению данных в необходимом для анализа виде заняла на порядки меньше времени, чем при обработке бумажных техпаспортов. В результате накопления данных в реальном времени появилась возможность оптимизировать процессы конструирования и технологические процессы изготовления изделий из керамики. Развитие программного обеспечения по сбору производственных данных привело к увеличению объема информации о производстве изделий в системе PSS и позволило получить качественные оценки технологических процессов.

СТЕКЛООБРАЗНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

НОВЫЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ СТЕКЛООБРАЗНЫЕ И СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

П.Д.Саркисов, В.Н.Сигаев

(Центр оптического стекла РХТУ им. Д.И.Менделеева, г.Москва, Россия)

В Центре оптического стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева создана универсальная опытно-промышленная линия, позволяющая получать широкую гамму новых функциональных материалов на основе стекла.

Разработанные технологии и оборудование обеспечивают возможность проведения широкомасштабных исследований с целью создания новых функциональных материалов:

- оптически однородных стекол различного назначения;
- наноструктурированных стекол, генерирующих вторую оптическую гармонику;
- стекол, наноструктурированных НЛО кристаллами (MeNbO_3 , KTiOPO_4 , и др.);
- поляризованных стекол с высокой квадратичной оптической восприимчивостью;
- наноструктурированных стекол с шириной полосы люминесценции более 300 нм для использования в волоконно-оптических усилителях и перестраиваемых ИК-лазерах;
- магнитооптических стекол с константой Верде ~ 04 угл.мин/Эсм;
- лазерных стекол с повышенным содержанием редкоземельного активатора при отсутствии концентрационного тушения люминесценции;
- высокоэффективных светофильтров на основе высокосамариевого стекла в квантрах мощных моноимпульсных неодимовых лазеров для предотвращения суперлюминесценции и связанных с ней потерь энергии накачки;
- тербиевых борогерманатных стекол как визуализаторов УФ-лазерного излучения (главным образом, гармоник излучения Nd и Ti лазеров);
- локально закристаллизованных стекол с образованием квазипериодических решеток НЛО кристаллов, волноводов, планарных структур;
- стекол, поверхностно закристаллизованных с образованием прозрачной НЛО текстуры;
- текстурированных стеклокерамик с высокой пирозлектрической добротностью;
- стекол с низким содержанием стеклообразователя (вплоть до состава KNbO_3 и др.) и повышенной концентрацией высокополяризуемых ионов;
- сегнето/пиро/пьезоэлектрических материалов на основе ниобата калия, получаемых кристаллизацией аморфизированного прекурсора;
- припоечных стекол, не содержащих оксид свинца;
- стеклянной ленты толщиной до 100 мкм для солнечных батарей;
- стеклянных микрошариков для селективной внутренней радиотерпии.

На примере лазерного фосфатного стекла показано, что созданная линия и разработанные технологические приемы позволяют получать оптически однородное стекло с выходом до 80%.

РАЗРАБОТКА ПРОЗРАЧНЫХ РАДИОЗАЩИТНЫХ СТЕКОЛ МЕТОДОМ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Т.К.Павлушкина (ОАО “Институт стекла”, г.Москва, Россия)

Воздействие электромагнитного излучения различной природы на технические и биологические объекты является существенным фактором, влияющим на их функционирование. Поскольку в настоящее время значительно возросло количество разнообразных источников ЭМИ (радио, телевидение, мониторы персональных компьютеров, радиотелефоны, навигационные

приборы и т.д.) и расширяется используемый частотный диапазон, то весьма актуальными являются проблемы защиты от воздействия электромагнитных сигналов в широкой полосе частот.

Одним из методов, используемых для создания коллоидных металлических наночастиц в диэлектриках, является ионная имплантация, заключающаяся во внедрении в мишень ионизированных атомов с энергией, достаточной для проникновения в ее приповерхностные области. Ионная имплантация имеет ряд уникальных преимуществ перед другими методами получения наночастиц благодаря способности образовывать большие объемы фракций металлических ионов, контролю размера частиц, глубине и ширине слоя на микронной шкале.

Полированные пластины стекол облучались ионами первого переходного ряда, а также W^+ и Mo^+ при энергии $E = 150$ кэВ и потоках (F), меняющихся в диапазоне от $2 \cdot 10^{15}$ до $5 \cdot 10^{17}$ ионов/ $см^2$. Для уменьшения температуры разогрева пластины в процессе имплантации плотность тока выбиралась низкой (0,5–5 мкА). Температура, измеренная на поверхности подложки с помощью термопары, не превышала 350 К.

Исследовались многокомпонентные эталонные стекла на силикатной и фосфатной основе, имплантированные переходными элементами Ti, V, Cr, Mn, Co, Fe, Ni, Cu, W и Mo.

Обнаружено, что в том случае, когда образуются более крупные наночастицы и, тем более, когда их размер неоднороден и меняется в широких пределах, стекла поглощают меньше электромагнитного излучения СВЧ диапазона за счет нарушения условий диссипативного резонанса.

Степень поглощения электромагнитного излучения имплантированного переходными элементами листового оконного стекла возрастает после термической обработки при $610^\circ C$ в восстановительной атмосфере водородно-аргоновой среды, при этом в структуре поверхностного слоя наблюдаются сферические частицы, размер которых увеличивается от 5 нм при дозе облучения $5 \cdot 10^{16}$ $см^{-2}$ до 10 нм при дозе 10^{17} $см^{-2}$ благодаря восстановлению ионов до металлического состояния и объединения их в кластеры.

Обнаружено, что при имплантации до доз $F \leq 10^{16}$ $см^{-2}$ все переходные элементы входят в стекло преимущественно в изолированном состоянии и валентных формах, типичных для этих элементов, введенных в оксидные стекла через шихту с последующим плавлением. Увеличение дозы (от 10^{16} до $6 \cdot 10^{16}$) приводит к тому, что изолированные ионы начинают агрегироваться в кластеры, связанные сильными спин-спиновыми взаимодействиями.

При высокодозовой имплантации ($F = 6 \cdot 10^{16} - 10^{17}$ $см^{-2}$) в имплантированных стеклах образуются наночастицы (размером 5–10 нм) различного типа: оксиды (MnO , VO_2 , Cr_2O_3 , CrO_2), сложные соединения (например, Ti_xPO_4), коллоидные металлические частицы (Co, Ni, Cu, W).

Оксиды и композиты регистрировались по фазовым переходам и температурным зависимостям спектров ЭПР. Некоторые из них (Co, Ni) являются ферромагнетиками и обнаруживают температурную зависимость формы и ширины линии, характерные для них. В других случаях образование наночастиц диагностируется по наличию полосы поглощения поверхностного плазмонного резонанса коллоидных металлических частиц и микрофотографиям ТЕМ.

Измерения поглощения электромагнитного излучения имплантированными модельными и листовыми стеклами показало, что ослабление мощности ЭМИ находится в пределах 6,2–30,2 дБ для фосфатного стекла и 7,8–34,1 дБ для силикатных стекол. Наибольший радиозащитный эффект наблюдается на стеклах, имплантированных никелем (Ni^+) и кобальтом (Co^+). Степень поглощения ЭМИ можно увеличить до 37,5 дБ путем проведения термообработки при $610^\circ C$ в восстановительной атмосфере в водородно-аргоновой среде.

Показано, что в стеклах, имплантированных переходными элементами, нано-частицы образуются в поверхностном слое, не превышающем 110 нм, что не снижает прозрачности листового стекла в ультрафиолетовой и видимой частях спектра.

Разработанное нами стекло может быть успешно использовано для остекления детских и лечебных учреждений, оздоровительных комплексов и жилых домов, обеспечивая защиту людей от воздействия электромагнитного излучения.

РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СТРОНЦИЕВОГО АНОРТИТА

П.Д.Саркисов, Л.А.Орлова, Н.Н.Уварова, Н.В.Попович
(РХТУ им. Д.И. Менделеева, г.Москва, Россия)

С развитием скоростей и маневренности летательных аппаратов требования к радиопрозрачным материалам существенно возрастают. Используемые сегодня для этих целей кварцевая керамика, литиево- и магниевое-алюмосиликатные стеклокристаллические материалы – ситаллы (в США – пирокерамы), созданный в последние годы в России стеклокерамический материал (СКМ) ОТМ–357 на основе стекла сподуменового состава не удовлетворяют растущим требованиям авиационного и ракетного материаловедения. Даже высокоплотная высокопрочная керамика на основе нитрида кремния не удовлетворяет в полной мере всем требованиям из-за высокой хрупкости. В связи с этим проблема создания новых составов радиопрозрачных материалов с комплексом повышенных термических, физико-химических и механических свойств продолжает оставаться актуальной.

Перспективными являются стеклокристаллические материалы (СКМ) на основе алюмосиликатных систем, в частности, системы $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--SrO}$ с TiO_2 в качестве катализатора кристаллизации. Выбор стекол в данной системе обусловлен выделением в них в качестве доминирующей кристаллической фазы моноклинного стронциевого анортита, имеющего температуру плавления 1760°C , повышенные значения химической и термической стойкости, низкие значения диэлектрических характеристик.

Варка стекол осуществлялась в корундовых тиглях емкостью 0,7 л в газопламенной печи при температуре 1600°C с выдержкой в течение 4 ч в окислительных условиях. Для всех стекол характерно наличие окраски от желтой (SAS 6) до темно-коричневой (SAS 2 и SAS 4), что обусловлено, как показали исследования, образованием железотитановых комплексов.

В результате термообработки синтезированных стекол в интервале температур $750\text{--}1350^\circ\text{C}$ исследован характер их изменений, включающий резкое потемнение стекол, опалесценцию и далее кристаллизацию с получением объемно-закристаллизованных материалов с тонкодисперсной структурой.

Методами ДСК и РФА выявлена природа физико-химических процессов, протекающих при термообработке стекол, определены температурные интервалы, последовательность и энтальпия образования кристаллических фаз (рис. 1). Установлено, что в зависимости от мольного соотношения $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SrO}$ и концентрации TiO_2 меняется природа первично выделяющейся кристаллической фазы – рутил или титалит, что в дальнейшем определяет вид выделяющегося стронциевого анортита – гексагональной или моноклинной формы.

Отсутствие в фазовом составе СКМ №6 рутила, имеющего высокую диэлектрическую проницаемость, и гексагонального анортита, ТКЛР которого выше $80 \cdot 10^{-7}\text{K}^{-1}$, явилось основанием для выбора данного состава для дальнейших работ. Для него характерны и более высокие температуры размягчения остаточной стеклофазы и растворения кристаллических фаз в ней, что говорит о значительном преимуществе и возможности достижения повышенных температур эксплуатации ситаллов на его основе.

Для оптимального состава разработан двухступенчатый режим термообработки: температура первой ступени превышает T_g на 20°C , температура второй ступени составляет 1250°C на основании полученных зависимостей ТКЛР, T_g и T начала деформации от температуры термообработки (рис.2).

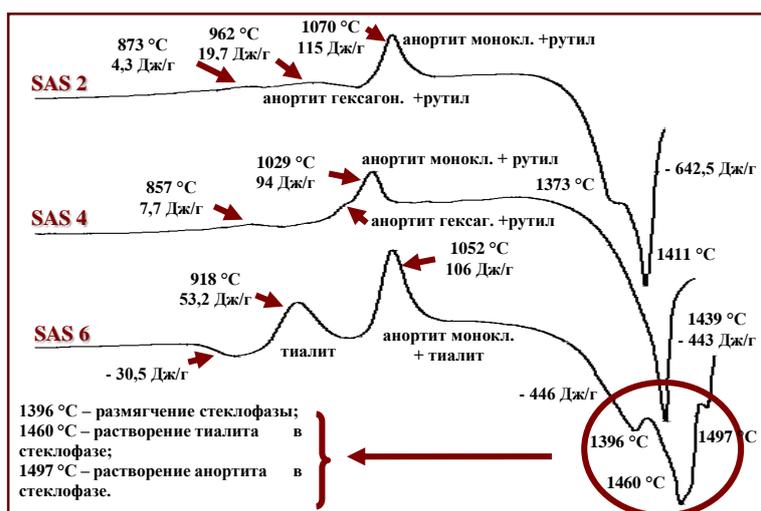


Рис.1. Результаты ДСК и РФА исследуемых стекол

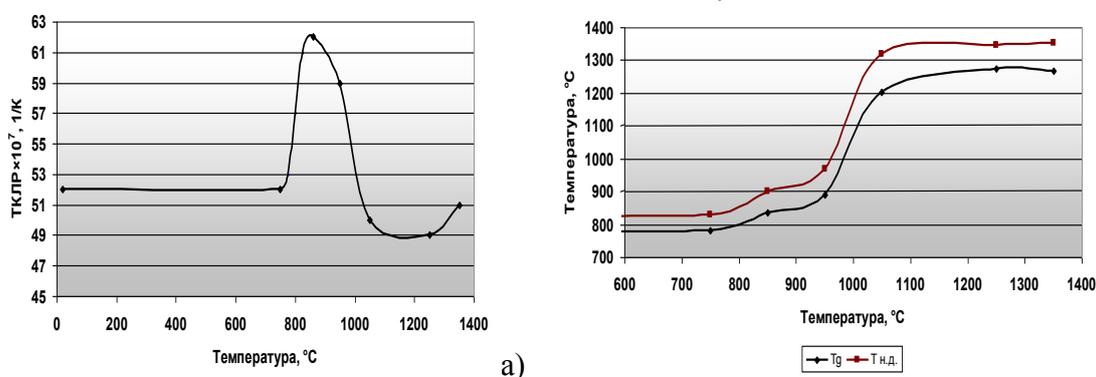


Рис. 2. Зависимость ТКЛР стекла № 6 (а), T_g и $T_{нд}$ (б) от температуры термообработки

Сравнительная характеристика свойств разработанного СКМ и стеклокерамики ОТМ–357 представлена в табл.

Свойство	Ситалл	Стеклокерамика ОТМ-357
Прочность при изгибе $\sigma_{изг.}$, МПа	100±10	100±10
Рабочая температура, °C	1200	900
Температура деформации, °C	выше 1500	-
ТКЛР · 10 ⁷ , 1/К	49 (20-1200°C)	13±2 (20-900 °C)
Термостойкость, °C	1200 при охл. в воде	850-1000 при охл. в воде
Диэлектрическая проницаемость ϵ -при частоте 10 ⁶ Гц; -при частоте 10 ¹⁰ Гц	6,4 8,15-8,3 (20-1200°C)	6,7 6,9-7,3 (20-900°C)
Изменение диэлектрической проницаемости при частоте 10 ¹⁰ Гц, %, не более	1,8 (20-1200°C)	6 (20-900°C)
Тангенс угла диэлектрических потерь tgδ -при частоте 10 ⁶ Гц; -при частоте 10 ¹⁰ Гц	0,0049 0,006-0,0692(20-1200°C)	0,0088 0,013-0,058 (20-700°C)

Таким образом, в стронцийалюмосиликатной системе получен СКМ, отличающийся комплексом высоких теплофизических свойств, достаточно высокими механическими характеристиками, стабильной в широком температурном интервале диэлектрической проницаемостью и, что наиболее важно, малыми значениями тангенса угла диэлектрических потерь.

ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА ХАНТИТОПОДОБНЫХ СТЕКОЛ

Н.В.Голубев¹, Е.Х.Мамаджанова¹, П.Д.Саркисов¹, В.Н.Сигаев¹, Г.Е.Малашкевич²

¹Центр оптического стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, г.Москва, Россия,

² Институт физики имени Б.И. Степанова НАН Беларуси, г.Минск, Беларусь)

Обладея многими достоинствами, стекла в качестве лазерной среды обладают существенным недостатком: простое повышение концентрации редкоземельного активатора приводит к концентрационному тушению люминесценции. При увеличении концентрации люминесцирующих частиц в стекле и, соответственно, при уменьшении расстояний между ними развиваются процессы взаимодействия возбужденных и невозбужденных частиц, в результате чего запасаемая на верхних уровнях энергия электронного возбуждения ионов деградирует в тепло, вместо того чтобы излучаться в виде квантов люминесценции или генерации.

Одним из путей решения проблемы концентрационного тушения в стеклах является поиск составов стекол, кристаллизующихся с выделением редкоземельных алюмоборатов со структурой хантита. Эти кристаллы демонстрируют аномально низкое концентрационное тушение люминесценции, что обусловлено большим расстоянием между ближайшими редкоземельными ионами, которое в случае, например, $\text{NdAl}_3(\text{BO}_3)_4$ составляет 5.92 Å. Можно ожидать, что кристаллохимическое подобие обеспечит наличие подобных фрагментов и в исходном стекле. Кроме того, кристаллы алюмоборатов вследствие нецентросимметричной структуры обладают нелинейно-оптическими свойствами, что обеспечивает режим самоудвоения частоты лазерной генерации.

В данной работе изучено стеклообразование, кристаллизационные и люминесцентные свойства ряда стекол составов вблизи стехиометрии хантита. Перспективность хантитовых стекол как лазерных материалов иллюстрируют результаты, полученные для самариевого хантитового стекла. Эти результаты (рис.) предполагают его использование в качестве активной лазерной среды (в том числе волоконной), генерирующей в оранжево-красной области спектра. Полученное стекло характеризуется относительно слабым концентрационным тушением люминесценции и значительным линейным коэффициентом поглощения излучения накачки в абсорбционных полосах активатора при $\lambda \approx 402$ и 470 нм. При этом, согласно оценкам, оптимальная длина активного лазерного элемента в зависимости от концентрации Sm_2O_3 и длины волны излучения накачки составит от долей до десятков сантиметров. Поскольку при этих длинах волн излучают достаточно мощные светодиоды синего и фиолетового излучения, это позволит создавать относительно миниатюрные источники оранжево-красного излучения.

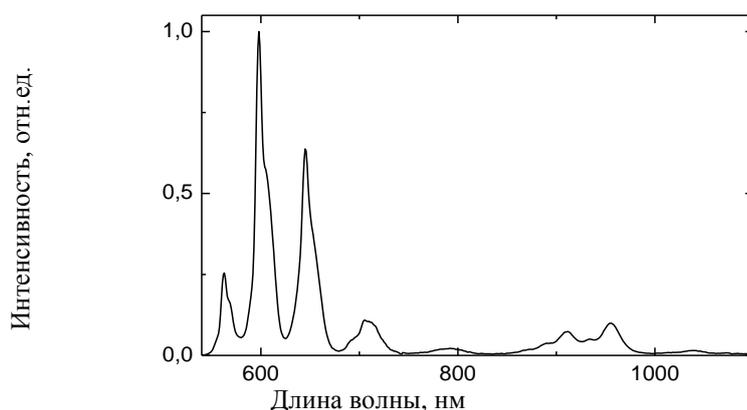


Рис. Спектр люминесценции самариевого хантитового стекла (длина волны возбуждения 402 нм)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНОДИСПЕРГИРОВАННЫХ ГЕТЕРОГЕННЫХ СМЕСЕЙ КРАСИТЕЛЕЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ ТОНИРОВАННОГО СТЕКЛА

Л.Н.Бондарева, И.Н.Горина, А.Б.Жималов, И.Д.Кособудский, Г.А.Полкан
(ОАО “Саратовский институт стекла”, г.Саратов, Россия)

Современными методами исследования – рентгенофазового анализа (РФА), сканирующей электронной микроскопии и энерго-дисперсионного анализа (SEM + ЭДС), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) исследованы фазовый и элементный состав, средний размер, форма частиц исходной и гетерогенной механодиспергированной смеси $\text{SiO}_2 + \text{Se}$. Показано, что в процессе высокоинтенсивного помола происходит вбивание частиц Se в нанопустоты SiO_2 со средним размером частиц 50 – 98 нм. При некоторых режимах обработки получены гетерогенные смеси $\text{SiO}_2 + \text{Se}$ с новыми качественными свойствами, в частности, имеющие в поверхностных слоях до 90% Se, что, вероятно, связано с возникающими наноразмерными эффектами.

О ВОЗМОЖНЫХ ПРИМЕНЕНИЯХ БОРОГЕРМАНАТНЫХ СТЕКОЛ В ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНИКЕ

В.И.Савинков, Н.В.Голубев, П.Д.Саркисов, В.Н.Сигаев
(Центр оптического стекла РХТУ им. Д.И.Менделеева, г.Москва, Россия)

Борогерманатные стекла длительное время не находили практического применения из-за высокой стоимости GeO_2 , многократно превышающей стоимость кремнезема. В последние годы интерес к германатным стеклам резко повысился в связи с использованием германия для легирования кварцевых световодов и попытками освоения линий оптической связи с $\lambda \approx 2$ мкм, вблизи которой стекла на основе GeO_2 имеют минимум собственных оптических потерь.

Система $\text{La}_2\text{O}_3\text{--V}_2\text{O}_5\text{--GeO}_2$ характеризуется широкой областью стеклообразования, кристаллизационная способность стекол в этой системе снижается при отклонении составов от стехиометрии кристалла стилвеллита LaVGeO_5 , а с помощью малых добавок оксида алюминия удается полностью подавить кристаллизацию стекла в интервале выработки, что чрезвычайно важно для получения стекол оптического качества. Показано, что указанные закономерности в большей или меньшей степени сохраняются при замене оксида лантана на другие редкоземельные элементы.

Исследована возможность получения борогерманатных стекол в системах $\text{Ln}_2\text{O}_3\text{--V}_2\text{O}_5\text{--GeO}_2$ ($\text{Ln} = \text{Sm}, \text{Tb}, \text{Er}, \text{Yb}$) с высоким содержанием РЗЭ (до 33 мол. %) оптического качества для использования в лазерной технике. Условия получения оптически однородных стекол в условиях миниатюризации производства (объем тигля до 300 мл) в указанных системах определяются типом РЗЭ и существенно облегчаются в случае стекол, содержащих лантаноиды цериевой подгруппы.

Разработан высокоэффективный светофильтр для подавления паразитных мод неодимового лазера на основе борогерманатного стекла с содержанием Sm_2O_3 до 25 мол. %, характеризующегося высоким пропусканием в области поглощения ионов Nd^{3+} и линейным коэффициентом поглощения света $\sim 30 \text{ см}^{-1}$ при $\lambda \approx 1,06$ и $1,34$ мкм, который может быть использован в квантронах твердотельных лазеров.

Разработана методика синтеза оптически однородного стекла в системе $\text{Tb}_2\text{O}_3\text{--V}_2\text{O}_5\text{--GeO}_2$ (ТВГ) с содержанием Tb_2O_3 31 мол.%, обладающего большим магнитооптическим эффектом. Константа Верде ТВГ стекол на длине волны 638 нм достигает значения 0,4 угл.мин/см·Э, превышающего константу Верде промышленных магнитооптических стекол, используемых в качестве затворов и вращателей Фарадея в лазерных оптических системах. Получены бесцветные

ТВГ стекла с коэффициентом поглощения ниже $0,001 \text{ см}^{-1}$ на рабочей длине волны $1,064 \text{ мкм}$, что обеспечивает очень высокую магнитооптическую добротность $Q_{1064} = 108 \text{ угл. мин/Э}$.

Изучены спектрально-люминесцентные характеристики борогерманатных стекол, соактивированных ионами Er^{3+} и Yb^{3+} , с люминесценцией ионов Er^{3+} в спектральной области $\lambda \sim 1,54 \text{ мкм}$ для использования в качестве усилителей в ВОЛС, а также активных элементов миниатюрных микрочип-лазеров в дальномерах. Обнаружено, что концентрационное тушение люминесценции ионов Er^{3+} в переходе ${}^4I_{13/2} \rightarrow {}^4I_{15/2}$ в борогерманатной матрице не наблюдается до 3 мол. % Er_2O_3 , что свидетельствует о слабой кластеризации ионов эрбия. Эффективная полуширина полосы люминесценции ионов Er^{3+} в борогерманатной матрице составляет 85–90 нм, превышая аналогичный показатель фосфатных (менее 30 нм) и силикатных (менее 75 нм) стекол.

ЛОКАЛЬНАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ЛАНТАНОБОРОГЕРМАНАТНОГО СТЕКЛА, АКТИВИРОВАННОГО НЕОДИМОМ, ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

С.В.Лотарев¹, А.С.Бахтамаева¹, В.Н.Сизаев¹, Ю.С.Присеко²

¹Центр оптического стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва,

²НПП “ВЭЛИТ”, г.Истра-2, МО, Россия)

Последние несколько лет характеризуются усиленным поиском составов стекол, в объеме которых в нано- и микромасштабе может быть выделена та или иная нецентросимметричная, полярная или даже сегнетоэлектрическая фаза. Это связано с постоянно развивающимися потребностями оптоэлектроники, интегральной оптики, фотоники, коммуникационных технологий в нелинейно-оптических (НЛО) материалах с различными комбинациями свойств. Выделение в стекле НЛО кристаллов – один из эффективных путей создания гибридных материалов с заметной квадратичной нелинейностью и электрооптическими свойствами. Новым, весьма перспективным способом локальной кристаллизации стекла является его обработка сфокусированным лазерным излучением, позволяющим формировать как на поверхности, так и в объеме стекла точки, прямые и изогнутые линии, периодические решетки, волноводы и пр. Этот метод открывает принципиально новые возможности для создания устройств интегральной оптики. В зависимости от длины волны лазерного излучения в стекло, как правило, добавляются компоненты или допирующие добавки, усиливающие поглощение на данной длине волны.

В настоящей работе на примере лантаноборогерманатного стекла состава $25\text{La}_2\text{O}_3\text{-}25\text{B}_2\text{O}_3\text{-}50\text{GeO}_2$, допированного ионами Nd^{3+} , показано, что Nd_2O_3 уже в концентрации 1 мол.% эффективен как поглощающая добавка для локальной кристаллизации стекла под действием излучения лазера на парах меди. Под действием сфокусированного лазерного пучка на длинах волн 510,6 и 578,2 нм в поверхностном слое стекла были выделены микрокристаллы стилвеллитоподобного LaBGeO_5 с размерами до 10 мкм, обладающие квадратичной оптической нелинейностью (рис.).

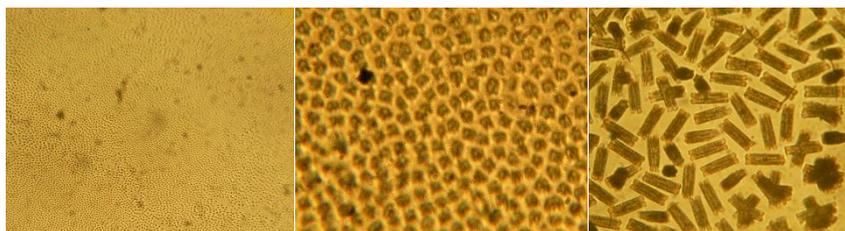


Рис. Типичные картины распределения сегнетоэлектрических кристаллов LaBGeO_5 , выделенных в лантаноборогерманатном стекле по различным режимам облучения лазером на парах меди.

ИНИЦИИРОВАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ПУТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ НАНОКРИСТАЛЛОВ В ГАЛЛИЙСОДЕРЖАЩИХ СТЕКЛАХ, ДОПИРОВАННЫХ НИКЕЛЕМ

Н.В.Голубев¹, Е.С.Игнатьева¹, П.Д.Саркисов¹, В.Н.Сигаев¹, Л.И.Булатов², В.М.Машинский², В.Г.Плотниченко², Е.М.Дианов² (¹Центр оптического стекла РХТУ им. Д.И.Менделеева, г.Москва, ²Научный центр волоконной оптики РАН, г.Москва, Россия)

Развитие передовых информационных технологий требует увеличения скорости передачи и обработки данных в волоконно-оптических линиях связи, что невозможно без разработки широкополосных оптических усилителей. В настоящее время широко распространены эрбиевые волоконные усилители, полная спектральная полоса усиления которых составляет около 80 нм (С и L полосы усиления) [1]. Увеличение последней возможно за счет использования в качестве активной среды наноструктурированных стекол, легированных переходными металлами. Способ получения подобных материалов заключается в термообработке стекол составов, для которых возможно формирование нанокристаллов без заметного изменения прозрачности стекла. При этом сохраняется характерная для технологии стекла возможность изготовления изделий больших размеров и разнообразной формы, обычно отсутствующая при синтезе кристаллов.

В данной работе получены стекла 20GaGeSi состава $7.5\text{Li}_2\text{O}-2.5\text{Na}_2\text{O}-20.0\text{Ga}_2\text{O}_3-35.0\text{GeO}_2-35.0\text{SiO}_2$ (мол.%), в которых при определенных условиях могут быть выделены легированные Ni^{2+} нанокристаллы фазы LiGa_5O_8 , обладающей высоким квантовым выходом люминесценции [2]. Наноструктурированные стекла люминесцировали на длине волны 1300 нм, причем спектры люминесценции имели большую полуширину – более 300 нм (рисунок), что делает их перспективными для разработки высокоэффективных волоконных лазеров и усилителей ближнего и среднего ИК-диапазонов. Более того, возможность нанокристаллизации данных стекол сочетается с пониженной по сравнению с силикатными стеклами температурой варки (ниже 1500°C), технологичностью выработки и пониженной кристаллизационной способностью в зоне выработки за счет введения в состав стекла оксида германия.

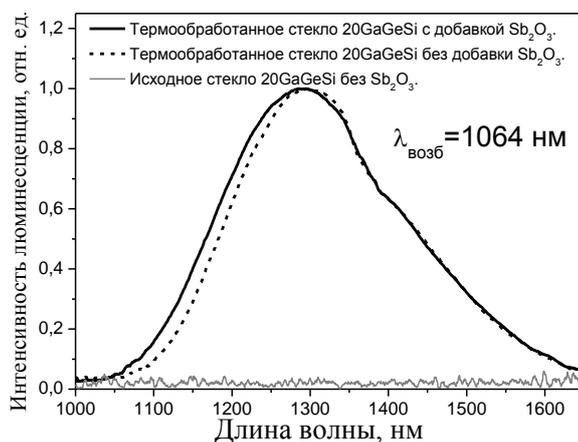


Рис. Спектры люминесценции допированных 0.1 % мол. NiO стекол расчетного состава 20GaGeSi: исходного и термообработанных по режиму $670^\circ\text{C} - 1.5 \text{ ч}$

Литература

1. Mori A. et al. Ultra_broadband amplification for DWDM systems // 25 European conference on optical communication. Nice, September 25-30.-1999.- V. 1.- P. 260
2. Suzuki T., Arai Y., Ohishi Y. Quantum efficiencies of near-infrared emission from Ni^{2+} -doped glass-ceramics // Journal of Luminescence.- 2008.- V. 128.- P. 603-609.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ РАСПЛАВА СТЕКЛА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ ТОНКОЙ СТЕКЛОЛЕНТЫ

В.К.Сысоев, А.А.Верлан, П.А.Вятлев

(ФГУП “НПО им.С.А.Лавочкина”, г.Химки, МО, Россия)

В настоящее время проявляется значительный интерес к изготовлению различных устройств (дисплеев, биосенсоров, термооптических покрытий [1]) на основе стеклянных элементов.

Вытяжка стеклоленты для изготовления таких стеклоэлементов, как правило, осуществляется методом перетяжки стеклянной заготовки из расплава через фильеру.

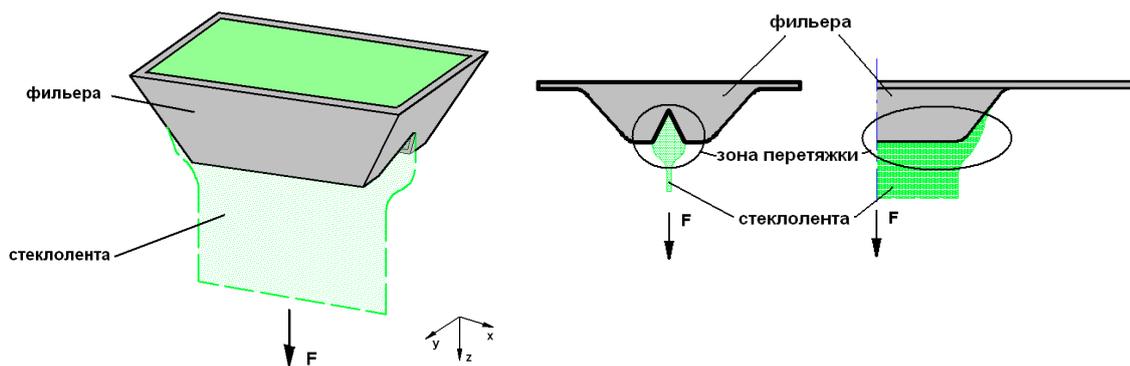


Рис. Геометрия зоны перетяжки стекломассы на выходе из фильеры

Качество такой стеклоленты в значительной степени зависит от температурных полей в струе расплава после выхода из фильеры (тигля) вплоть до затвердевания и перехода его в стеклоленту.

Изменение температур, как в осевом направлении, так и в радиальном направлении влияет на стабильность геометрии формируемой стеклоленты. А требование к получению высокостабильной геометрии стеклоленты является основным технологическим условием к выполнению вытяжки такой стеклоленты.

Знание температурных полей позволит исключить негативные эффекты, а управление этими процессами дает возможность получать стеклоленту более высокого качества.

Прямо экспериментальное определение температур и их распределение в струе расплава малой толщины (порядка 1-0,1 мм) является сложной технической задачей.

Основные теоретические и экспериментальные исследования перетяжки стеклянных изделий проведены в области вытяжки оптических световодов, область перетяжки стеклолент менее исследована и в основном заключена в экспериментальных работах.

В настоящей работе процесс формирования тонкой стеклоленты исследуется численными методами с последующим сравнением с экспериментальными данными и формированием математической модели для использования в системе управления технологическим процессом управления вытяжки стеклоленты.

Одной из основных сложностей математического описания формирования стеклоленты является сложная геометрия поперечного сечения этой ленты (в отличие от простой осевой геометрии световодов [2]).

В данной работе представлены результаты численного исследования технологических параметров вытяжки стеклоленты, основными положениями которого являются моделирование динамики проведения процесса вытяжки стеклоленты в зоне выхода из печи (фильере), моделирование трансформации сечения зоны формирования стекол при перетяжке заготовки в стеклоленту и экспериментальные исследования пространства технологических параметров процесса вытяжки стеклоленты.

Использование представленной в этой работе модели позволяет получать стеклоленту с формами сечения, необходимыми для производства стеклоэлементов заданного качества, что как следствие уменьшает затраты на проведение экспериментальных работ для каждого нового вида стекол.

Литература

1. Сысоев В.К., Вятлев П.А., Полищук Г.М., Туричин В.А., Лапота В.А., Вартопетов С.К. Высокоэффективные лазерные технологии изготовления изделий ракетно-космической техники // Авиакосмическое приборостроение. – 2008.– № 4.– С. 52–60.

2. Дианов Е.М., Кашин В.В., Перминов С.М., Перминова В.Н., Сысоев В.К., Русанов С.Я. Динамика поведения зоны перетяжки заготовка-световод для различных режимов вытяжки при печном и лазерном нагреве // Инженерно-физический журнал – 1988.– Т.55, № 3.– С.491-497.

ПОЛУЧЕНИЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТЕКЛОКЕРАМИКИ НА ОСНОВЕ KNbO_3 ИХ АМОРФНОЙ ФАЗЫ

В.С.Рыженков, Н.В.Голубев, С.В.Лотарев, В.И.Савинков, В.Н.Сизаев, С.Ю.Стефанович
(Центр оптического стекла РХТУ им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия)

Наиболее распространенными материалами для пьезотехники являются сегнетоэлектрики на основе PbTiO_3 и керамики PZT. Современные экологические нормы направлены на вытеснение материалов, содержащих тяжёлые металлы, в первую очередь, свинец. В связи с этим в последнее время всё чаще предпринимаются попытки получить высокоэффективные сегнето/пиро/пьезоэлектрики, не содержащие свинец. Керамика KNbO_3 является одним из наиболее перспективных материалов для замены PZT материалов, поскольку обладает близким к ним пьезоэлектрическим эффектом. Однако получить плотную, пригодную для промышленного применения керамику на основе KNbO_3 , до последнего времени не удавалось.

В работе исследована возможность получения сегнетоэлектрической стеклокерамики на основе KNbO_3 путём кристаллизации аморфных порошков. В результате введения в состав KNbO_3 небольших добавок SiO_2 стеклообразующие свойства расплава резко возросли, что позволило легко получать в аморфном виде порошки KNbO_3 , содержащие менее 5 мол. % SiO_2 . Установлено, что малые добавки SiO_2 слабо влияют на сегнетоэлектрические свойства стеклокерамики. Выявлены составы и режимы кристаллизации, позволившие получить плотную (пористость менее 5 %) стеклокерамику на основе KNbO_3 с огромной диэлектрической аномалией в области сегнетоэлектрического фазового перехода, которая значительно превосходит таковую для керамики KNbO_3 , полученной по классической керамической технологии, и приближается к значению, характерному для монокристалла. В качестве спекающей добавки было использовано жидкое натриево-силикатное стекло, которое локализовалось в межзёренном пространстве керамики, что привело к повышению её проводимости и облегчению поляризации. Обнаружено, что кристаллизация KNbO_3 из аморфной фазы происходит с образованием практически идеально сформированных кристаллов, которые и определяют её сегнетоэлектрические свойства. Дальнейшее развитие исследований в данном направлении связано как с изучением пьезосвойств полученной керамики, так и с созданием текстурированной керамики на основе ниобата калия, для которой, согласно теоретическим оценкам, можно ожидать усиления пьезомодулей более чем на порядок.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОЙ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ ЛИНИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРИПОЕЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СТЕКЛА

П.Д.Саркисов, В.Н.Сизаев, Н.В.Голубев, Е.В.Лопатина, С.В.Лотарев, В.И.Савинков (Центр оптического стекла РХТУ им.Д.И.Менделеева, г. Москва, Россия)

В рамках ФЦП “Разработка, восстановление и организация производства стратегических, дефицитных и импортозамещающих материалов и малотоннажной химии для вооружения, военной и специальной техники на 2009-2011 годы и на период до 2015 года” в РХТУ им. Д.И. Менделеева осуществляется разработка опытно-промышленной линии производства припоечных материалов на основе легкоплавких стекол.

Область применения разрабатываемых стеклоприпоечных материалов распространяется на все виды изделий авиационной, космической, электронной, химической промышленности, приборостроения и других отраслей, в том числе и гражданского применения, в которых предусмотрено вакуум-плотное соединение деталей из стекла, керамики, металлов и сплавов, композитов. Создание малотоннажной промышленной линии производства широкой номенклатуры стеклоприпоев позволит вытеснить с внутреннего рынка импортные дорогостоящие аналоги и удовлетворить спрос отечественной промышленности на припоечные материалы различного применения. В работе предусмотрено не только восстановление и воспроизводство разработанных ранее стеклоцементов и стеклокомпозиций с высоким содержанием оксида свинца, но и исследование и разработка технологических основ получения новых, в том числе экологически чистых стеклоприпоев.

Разработана лабораторная технология стеклокомпозиционных припоечных материалов на основе легкоплавких стекол свинецсодержащих и бессвинцовых систем, и кристаллических наполнителей (титанат свинца, β -эвкрипит, циркон, кварцевое стекло, кордиерит, шеелит и пр.) с ТКЛР от $\sim 40 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ и выше с использованием платиновой оснастки и выработки гранулята в виде чипов. Создаваемая опытно-промышленная линия будет оснащена оборудованием, позволяющим производить всю номенклатуру составов припоечных стекол, стеклоцементов и стеклокомпозитов с быстрой перенастройкой от одного припоечного материала к другому, а также проводить разработки новых припоечных материалов.

Разработанные технологии планируется реализовать в рамках мелкосерийного производства припоечных материалов на основе единого опытно-промышленного центра на базе ФГУП “ОНПП “Технология”, способного полностью удовлетворить спрос предприятий России.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕГКОПЛАВКИХ ВИСМУТСОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ С ВЫСОКОЙ ХИМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТЬЮ

В.Н.Сизаев, А.М.Каплунова, О.В.Рябина (РХТУ им. Д.И.Менделеева, г.Москва, ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Одним из направлений в синтезе легкоплавких материалов является исследование стекол, в которых оксид свинца полностью или частично замещен оксидом висмута, что связано с близкими значениями ионных радиусов и электронной конфигурации свинца и висмута.

В представленной работе изучено влияние различного содержания оксида висмута в системе $\text{Me}_2\text{O}-\text{Bi}_2\text{O}_3-\text{PbO}-\text{SiO}_2$ на химическую стойкость, коэффициент линейного термического расширения и технологические характеристики (кристаллизационную способность и температуру размягчения) синтезируемого стекла.

Измерения ТКЛР, температуры размягчения, температуры начала деформации и водостойкости полученных стекол показали, что замена оксида свинца на оксид висмута снижает температуру начала деформации материала и повышает ТКЛР. Введение в висмутсодержащее

стекло оксида фосфора приводит либо к значительной поверхностной кристаллизации стекла (~ 8 мас% P_2O_5), либо к объемной кристаллизации (20% P_2O_5).

Методом ДТА установлена низкая кристаллизационная способность полученных стекол в широкой области температур 500-700°C. Модификация висмутсодержащего стекла оксидом цинка взамен диоксида кремния улучшает его выработочные свойства и значительно понижает температуру варки (~ на 200°C).

Исследования, представленные в работе, позволили предложить составы легкоплавких стекол на базе висмутсодержащих систем для получения материалов с заданным комплексом свойств и показали, что висмутсодержащие легкоплавкие системы способны выступить альтернативой традиционным свинецсодержащим стеклоприоям.

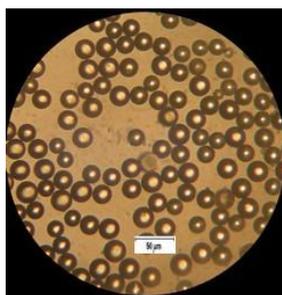
СТЕКЛЯННЫЕ МИКРОСФЕРЫ В СИСТЕМЕ $Y_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$

Г.Н.Апрощенко, Н.В.Голубев, С.В.Лотарев, В.И.Савинков, В.Н.Сизаев
(Центр оптического стекла РХТУ им. Д.И.Менделеева, г.Москва, Россия)

Интерес к стеклам в системе $Y_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ в значительной степени связан с наметившейся тенденцией использования стеклянных микросфер для лечения онкологических заболеваний.

Разработана методика варки и выработки высоко-иттриевого алюмосиликатного стекла с минимизированным содержанием примесей. Изучены кристаллизационные свойства стекла состава $40Y_2O_3-20Al_2O_3-40SiO_2$ (масс. %). Получены порошки этого стекла дисперсностью 15-32 мкм. Сферидизация порошков с помощью плазмотрона позволила получить микросферы, представляющие большой интерес для использования в брахитерапии. Микросферы характеризовались огненно-полированной поверхностью (рис.) и имели диаметр в пределах 20-30 мкм (доля частиц размером <15 мкм составляла ~ 4%, а частицы >32 мкм отсутствовали), обнаружили полностью аморфную структуру без присутствия кристаллических включений, высокую изометрию формы (асферичность частиц менее 5%), высокую химическую стойкость (первый гидролитический класс).

Технические, радиационные и токсикологические испытания микросфер проводятся в ООО “Бебиг” и ФГУП “Завод медицинских радиопрепаратов”.



ИССЛЕДОВАНИЯ ПО СИНТЕЗУ СИТАЛЛОВ ДЛЯ ПОДЛОЖЕК ТОНКИХ НОМИНАЛОВ

Л.А.Алексеева, М.В.Воропаева, Р.П.Келина
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Приоритетной задачей современного материаловедения является разработка материалов с широким диапазоном свойств, удовлетворяющих требованиям новых поколений приборов и изделий полупроводниковой техники.

Настоящие исследования посвящены экспериментальным исследованиям по синтезу и технологии изготовления материала для ситалловых подложек тонких номиналов (0,6-1,0мм) с ТКЛР до $50 \cdot 10^{-7} \text{K}^{-1}$ для микросхем полупроводниковой и электронной техники.

Учитывая опыт предыдущих разработок, для синтеза ситаллов была выбрана магнийалюмосиликатная система с оксидом титана в качестве катализатора кристаллизации. Для улучшения технологических свойств и снижения температуры кристаллизации были введены модифицирующие добавки оксидов цинка, сурьмы, мышьяка, кальция и церия.

Проведены экспериментальные варки ситаллообразующего стекла в лабораторной электропечи при температуре (1530 – 1550)°С с выдержкой 2-3 часа и в 3-литровых кварцевых тиглях в газоплазменной печи, отжиг образцов стекла.

Выявлены закономерности влияния модифицирующих добавок на технологические и кристаллизационные свойства исходного стекла. Установлено, что наиболее благоприятное действие на технологические свойства оказывают добавки оксидов цинка и серия.

Установлено, что для исследуемых стекол характерно сильное пенообразование на поверхности и расслоение на стадиях формования, отжига и начальной стадии термообработки, а, как известно, свойства ситаллов сильно зависят от теплового прошлого. Следовательно, для воспроизводимости свойств необходима стабилизация температурно-временных параметров всех этапов технологии.

Исследованы режимы кристаллизации и определены основные свойства экспериментальных образцов.

МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ С БАРЬЕРНЫМ СЛОЕМ НИТРИДА АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ТЕПЛОЗАЩИТНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ

В.А.Богатов, С.С.Захаров, П.П.Кисляков, А.Г.Крынин, Ю.А.Хохлов
(ФГУП “ВИАМ”, г.Москва, Россия)

В современных средствах отображения информации, транспортных средствах и строительных сооружениях с целью ослабления избыточного потока теплового и СВЧ излучения широко применяются материалы остекления с многофункциональными оптическими покрытиями структуры диэлектрик–металл–диэлектрик. В качестве металлического слоя, экранирующего тепловое и СВЧ излучение, в таких покрытиях обычно применяют металлы с высокой электропроводностью (серебро или медь) толщиной 10-20 нм. Чтобы увеличить коэффициент пропускания покрытия в видимой области спектра используют эффект интерференции света, отраженного от границ раздела разных слоев покрытия. Для этого металлический слой располагают между прозрачными диэлектрическими слоями, имеющими высокий показатель преломления, такими как оксиды металлов Zn, Sn, Ti, In, Cd, Nb. Толщина диэлектрических слоев составляет 30-60 нм.

Теоретически, лучшее сочетание оптических и электрических свойств может быть получено на покрытиях структуры (оксид титана)–(серебро)–(оксид титана). На практике, как показано в работе [1], при нанесении внешнего оксидного слоя методом реактивного магнетронного распыления наблюдается изменение структуры слоя серебра, которое приводит к снижению его электропроводности и увеличению поглощения видимого света. В [2] с целью защиты слоя серебра предложено наносить между слоем металла и внешним слоем оксидного диэлектрика барьерный слой из таких металлов как титан, железо или никель толщиной 1,5-3,0 нм.

В данной работе проведены исследования влияния толщины барьерных слоев, выполненных из титана и нитрида алюминия, на оптические характеристики органического стекла с покрытием структуры (оксид титана)–(серебро)–(барьерный слой)–(оксид титана). В результате проведенных исследований определены оптимальные толщины слоев для разных

конструкций металлди-электрических покрытий, обеспечивающие максимальное значение интегрального коэффициента пропускания видимого света, при одинаковых коэффициентах ослабления потока теплового излучения и величине поверхностного сопротивления. Интегральный коэффициент пропускания видимого света T_v и коэффициент ослабления потока теплового излучения $K_{ИК}$ в ближней ИК-области спектра ($\lambda=780-2500$ нм) образцов стекла с покрытием определяли по формулам:

$$\dot{O}_A = \frac{\int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} t(\lambda) \cdot J(\lambda) \cdot w(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380\text{нм}}^{780\text{нм}} J(\lambda) \cdot w(\lambda) \cdot d\lambda}, \quad \dot{E}_{\dot{E}\dot{E}} = \frac{1}{\dot{O}_{\dot{E}\dot{E}}} = \left[\frac{\int_{780\text{нм}}^{2500\text{нм}} t(\lambda) \cdot J(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{780\text{нм}}^{2500\text{нм}} J(\lambda) \cdot d\lambda} \right]^{-1},$$

где $t(\lambda)$ – измеренный спектральный коэффициент пропускания образца; $J(\lambda)$ – энергетический спектр источника излучения; $w(\lambda)$ – спектральная чувствительность глаза.

В таблице приведены оптические характеристики органического стекла с оптимизированными конструкциями металл-диэлектрических покрытий для случая, когда величина поверхностного сопротивления металлического слоя одинакова (15 Ом/квадрат).

Таблица
Характеристики органического стекла с оптимизированными металлдиэлектрическими покрытиями

Структура покрытия	Интегральный коэффициент пропускания видимого света T_v , %	Коэффициент ослабления теплового потока солнечного излучения, $K_{ИК}$	Поверхностное сопротивление, R_s , Ом/квадрат
$TiO_2 - Ag - Ti - TiO_2$	72	5,0	15
$TiO_2 - Ag - AlN - TiO_2$	78	5,0	15
$TiO_2 - Ag - AlN$	76	4,9	15

Из таблицы видно, что использование барьерного слоя нитрида алюминия позволяет увеличить интегральный коэффициент пропускания видимого света материала остекления по сравнению с покрытием, включающим металлический барьерный слой. В таблице, для сравнения, приведены оптические характеристики образцов оргстекла с оптимизированным покрытием состава диоксид титана–серебро–нитрид алюминия.

Литература

1. R.C. Ross. Observation on humidity-induced degradation of Ag-based low-emissivity films // Solar Energy Materials. 1990. N21. P. 25-42.
2. Патент США № 4337990 от 06.07.1982, Transparent Heat-Mirror.

ИОННО-СТИМУЛИРОВАННОЕ НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ ДИОКСИДА ТИТАНА НА ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ ИЗ ОРГАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

В.А.Богатов, С.С.Захаров, П.П.Кисляков, А.Г.Крынин, Ю.А.Хохлов
(ФГУП “ВИАМ”, г.Москва, Россия)

При изготовлении оптических деталей и деталей остекления широко используются разные виды интерференционных покрытий (просветляющие, низкоэмиссионные, многофункциональные и другие), одним из компонентов которых является тонкопленочный слой диоксида титана. Важным фактором, определяющим качество таких покрытий, является

получение тонких пленок диоксида титана с высоким показателем преломления ($n \geq 2,3$), которые практически не поглощают видимый свет.

В данной работе исследованы режимы реактивного магнетронного нанесения оксидов титана на органическое стекло и, в частности, режимы ионно-стимулированного нанесения. Известно, что воздействие потока ускоренных ионов на растущее покрытие позволяет частично удалить загрязняющие примеси, создать более совершенную структуру и уплотнить покрытие. Кроме того, при реактивном нанесении оксидных или нитридных покрытий ионное стимулирование позволяет значительно увеличить скорость образования химического соединения и улучшает его стехиометрический состав.

Исследования режимов реактивного магнетронного нанесения диоксида титана проводили в вакуумной камере установки ВУ-1, оснащенной магнетроном с размером распыляемой мишени 500x80 мм и генератором плазмы газового разряда со скрещенными электрическим и магнитным полями. Генератор плазмы создавал ленточный поток ионов протяженностью 650 мм и обеспечивал работу в двух режимах:

1) “высоковольтный” режим – разрядное напряжение (1500-2500) В, ток разряда (0,1-1,0) А; 2) “низковольтный” режим – разрядное напряжение (250-400) В, ток разряда (1,0-5,0) А. Это позволило провести сравнение эффективности ионно-стимулированного нанесения покрытий на органическое стекло при воздействии на осаждаемое покрытие потоком ионов, как с “высокой”, так и с “низкой” энергией ионов.

Нанесение покрытий диоксида титана на поверхность органического стекла проводили методом реактивного магнетронного распыления титановой мишени в смеси газов: аргона – 80% и кислорода 20%, которые подавались в вакуумную камеру через зону разряда генератора плазмы. Спектральные коэффициенты пропускания и отражения образцов органического стекла с покрытиями диоксида титана определялись с помощью спектрофотометра СФ-2000 с приставкой отражения СФО-2000. По измеренным спектрам определялся коэффициент поглощения покрытия и рассчитывался его показатель преломления. Предпочтительными считали режимы нанесения диоксида титана, при которых показатель преломления покрытия на длине волны 550 нм был равен $2,3 \pm 0,05$.

Исследования показали, что ионное стимулирование по второму режиму на (2-4) % увеличивает интегральный коэффициент пропускания образцов с покрытием TiO_2 . Причем увеличение коэффициента пропускания происходит за счет уменьшения коэффициента поглощения.

На рисунке показаны, рассчитанные по результатам измерений, зависимости коэффициента поглощения органического стекла АО-120 с покрытиями TiO_2 толщиной ~ 23 нм от длины волны света. Как видно из рисунка, в диапазоне длин волн 450-750 нм коэффициент поглощения покрытий, полученных магнетронным нанесением с ионным стимулированием по второму режиму, близок к нулю.

Результаты проведенных исследований показывают, что ионное стимулирование, может быть использовано для увеличения коэффициента пропускания многослойных покрытий, содержащих слои диоксида титана, за счет уменьшения поглощения света в этих слоях.

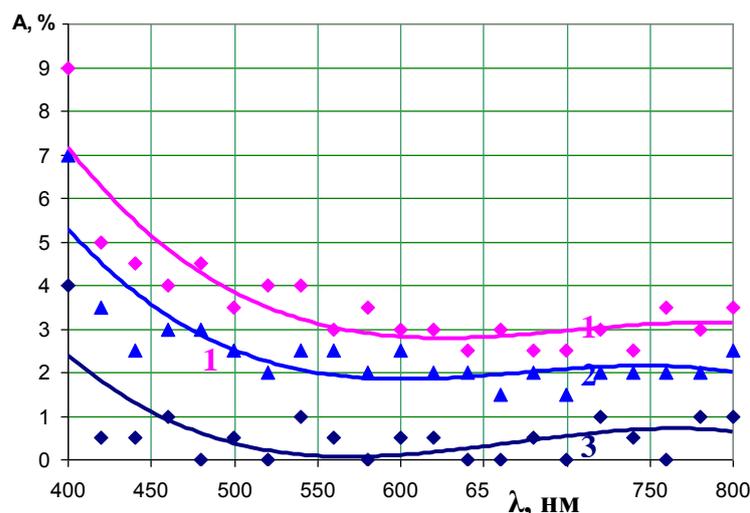


Рис. Спектральная зависимость коэффициента поглощения органического стекла АО-120 с покрытием TiO_2 толщиной ~ 23 нм: 1 – без ионного стимулирования; 2 – ионное стимулирование нанесение покрытия по первому режиму; 3 – ионное стимулирование, нанесение покрытия по второму режиму

КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ АЛКОКСИСИЛАНОВ

П.А.Стороженко, А.Н.Поливанов, Т.И.Федотова, Т.И.Сунеканц, А.В. Левчук, В.А.Власова
(ФГУП «ГНИИХТЭОС», г.Москва, Россия)

Кремнийорганические пленкообразующие составы благодаря уникальным потребительским свойствам незаменимы во многих отраслях промышленности.

Существующая в настоящее время технология их получения основана на использовании высокорекреакционноспособных и агрессивных мономеров (органохлорсиланов) и имеет существенные недостатки: высокую пожаро-взрывоопасность и большое количество отходов (кислые стоки, промывные воды и пр.).

Требования экологии к современным технологическим процессам, предполагающие их безопасность и минимизацию отходов, обуславливают необходимость создания прогрессивной безотходной технологии получения кремнийорганических пленкообразующих.

В настоящее время ФГУП «ГНИИХТЭОС» проводит исследования по разработке способов получения кремнийорганических составов (наноконкомпозитов) для пленочных покрытий на основе алкоксисиланов, в том числе изучается золь-гель метод. Золь-гель метод открывает возможность комбинации неорганических и органических единиц на молекулярном и наноразмерном уровнях. Гибкий химический подход к сочетанию неорганических и органических полимерных фрагментов структуры формируемого покрытия позволяет получать новые мультифункциональные материалы с экстремально высокими характеристиками: твердостью и устойчивостью к царапанию, агрессивным средам, запотеванию и загрязнениям, коррозионной стойкостью, устойчивостью к неблагоприятным климатическим факторам и пр.

В рамках данной работы исследовали возможность получения оптически прозрачных, твердых, износостойчивых покрытий органических стекол на основе продуктов гидролитической поликонденсации смеси тетраэтоксисилана с органоалкоксисиланами. Изучали влияние параметров процесса (продолжительности, температуры, pH среды, концентрации реагентов) на глубину конденсации и физико-химические свойства конечных продуктов. Синтезированные образцы охарактеризованы данными ^1H , ^{13}C , ^{29}Si ЯМР-спектроскопии и

методом гель проникающей хроматографии. Методом термогравиметрического анализа и ИК-спектроскопии исследованы процессы отверждения экспериментальных образцов нанокомпозитов.

На основании экспериментальных образцов были сформированы оптически прозрачные защитные кремнийорганические покрытия на органические стекла. Проведены испытания основных эксплуатационных характеристик покрытий (механической прочности, адгезии, светопропускания, коэффициента отражения, устойчивости к спирту и ацетону).

Полученные результаты свидетельствуют о безусловной целесообразности продолжения исследований по получению кремнийорганических составов (нанокомпозитов) для пленочных абразивостойких покрытий органических стекол.

ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ТОЛЩИНЫ НАНОСИМЫХ В ВАКУУМЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ КВАРЦЕВОГО ДАТЧИКА

О.Ф.Просовский, А.Н.Исамов, Л.Н.Соловьева, Г.Ю.Просовская
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В работе представлены результаты исследования точности работы системы контроля толщины наносимых в вакууме тонкопленочных покрытий, которая в качестве чувствительного элемента использует кварцевый резонатор.

Применение кварцевой системы мониторинга толщины напыляемого покрытия при производстве многослойных интерференционных и металлодиэлектрических покрытий имеет как ряд преимуществ, так и ряд недостатков. Прежде всего, к недостаткам необходимо отнести косвенность измерений толщины напыляемого покрытия и погрешность измерений, вызванную температурным ударом на кварцевый резонатор в момент открывания заслонки тигля испаряемого материала.

Проведен анализ алгоритма работы системы измерения толщины напыляемых пленок с помощью кварцевого монитора, описаны особенности конструкции датчика, представлены экспериментальные данные погрешности системы контроля из-за теплового удара для различных материалов.

Проанализированы технологические нюансы мониторинга толщины покрытий с помощью кварцевого датчика различных пленкообразующих материалов, предложены пути решения возникающих технологических проблем.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО КОМПОЗИЦИИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛООПТИЧЕСКИХ И КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ И ТЕХНОЛОГИИ ИХ НАНЕСЕНИЯ НА ИЗДЕЛИЯ АВИАЦИОННОГО ОСТЕКЛЕНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ЗАЩИТУ ЭКИПАЖА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ И МАЛОЗАМЕТНОСТЬ НА РАДАРАХ

В.И.Самсонов, Б.А.Кауппонен, Д.Н.Петрачков, А.Е.Пигалев, О.Ф.Просовский, В.И.Темных, П.Я.Ткаченко (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Настоящая работа представляет собой результат комплексных научно-исследовательских и конструкторско-технологических исследований и разработок, направленных на создание принципиально нового типа авиационного остекления с многофункциональными покрытиями, обеспечивающего защиту экипажа от воздействия внешних факторов (электромагнитное и

ультрафиолетовое излучения, тепло солнечной радиации) и повышение тактико-технических характеристик современных боевых самолетов и вертолетов.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана композиция многофункционального покрытия на авиационное остекление на основе металлооптических и кремнийорганических соединений, обеспечивающая:

– ослабление плотности потока электромагнитного излучения в кабину пилота в 200-250 раз;

– ослабление УФ излучения в 2,0-3,0 раза;

– ослабление теплового потока солнечного излучения на 40-50%;

– снижение радиолокационной заметности на радарх на 30-50 %;

– интегральное светопропускание не менее 65%;

– снижение “двоения” изображения огней взлетно-посадочных полос и других, визуально наблюдаемых объектов в 1,5-2,0 раза;

– повышение абразивостойкости органического стекла в 5-6 раз.

Впервые в стране разработана промышленная технология нанесения наноразмерных металлооптических и кремнийорганических адгезионных и защитных покрытий на сложнопрофильные изделия авиационного остекления из силикатного и органического стекла. Создана научно-производственная база, оснащенная современным исследовательским, промышленным, контрольно-измерительным и испытательным оборудованием. Освоен серийный выпуск остекления с поставкой изделий на авиационные заводы страны.

Изделия остекления, полученные по разработанной технологии, используются на самолетах МиГ 29КУБ, в том числе экспортирующихся в Индию, самолетах дальней радиолокационной разведки А-50, самолетах Су 35, Су 30МКМ, объекте 10В. В рамках хоздоговоров ведутся работы по созданию остекления с многофункциональным и защитным покрытиями для самолетов Ту160, многоцелевого вертолета Ка 62.

Разработанное остекление по тактико-техническим характеристикам превосходит известные зарубежные аналоги, что повышает конкурентно-способность отечественной авиационной техники на международном рынке.

Созданный в рамках данной работы научный задел используется в ФГУП “ОНПП “Технология” при производстве других изделий военной и гражданской техники (высококонтрастное приборное остекление с антибликовым покрытием, крупногабаритные отражатели прожекторов, пленочные и дихроические фильтры и др.). Использование результатов работы возможно в производстве изделий остекления гражданской авиации, автомобильного транспорта, остекления зданий и помещений, подвергающихся воздействию электромагнитного излучения, и других областях техники.

Научная ценность, оригинальность и новизна технических решений данной работы подтверждается десятью авторскими свидетельствами и патентами. Результаты работы экспонировались на авиасалоне МАКС 2007, г.Жуковский, работа награждена дипломами и золотыми медалями специализированных выставок. Авторам работы присуждена премия Правительства РФ в области науки и техники за 2009 г.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА КРУПНОГАБАРИТНЫЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫЕ ИЗДЕЛИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО РАСТВОРА ЖИДКИХ ПЛЕНОК И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

А.В.Пестов, А.Е.Пигалев, Д.Н.Петрачков, Б.А.Кауппонен, В.И.Самсонов, И.Ю.Овсянникова (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В ряде случаев к изделиям остекления различных видов транспортных средств предъявляются требования по снижению коэффициента отражения в заданной области спектра или по защите от электромагнитного излучения. Общеизвестно, что эти задачи решаются путем нанесения на поверхность остекления широкого спектра металлов и/или их оксидов с наноразмерной толщиной. Ввиду того, что адгезия и металлов, и их оксидов к органическим стеклам незначительна, необходимо на изделия из органического стекла наносить адгезионный подслоя, который должен иметь хорошую адгезию как к органическому стеклу, так и к металлам и/или к их оксидам. В качестве такого адгезионного подслоя может служить бесцветный лак из полиметилфенилсилсесквиоксана, привитый к наноразмерным глобулам SiO_2 . Этот лак может быть использован также для защиты покрытия из металлов и/или их оксидов от внешних факторов.

В патенте [1] описан способ нанесения лака на крупногабаритные сложнопрофильные изделия с использованием многокомпонентного раствора жидких пленок путем контактирования его с поверхностью изделия. При этом в контактном пространстве создают разрежение 0,06-0,15 атм и подают туда раствор вязкостью 16-18 с DIN 4/20°C со скоростью 2-3 мм/с, а затем сливают раствор со скоростью 0,5-0,8 мм/с и осуществляют сушку изделия.

Устройство для осуществления данного способа содержит герметичную камеру, стенки которой выполнены из сложнопрофильных элементов с кривизной поверхности, соответствующей кривизне поверхности изделия, причем герметичная камера в своей донной части соединена с дополнительной емкостью, содержащей многокомпонентный раствор, посредством гидронасоса и системы трубопроводов, а в верхней части соединена с вакуумным насосом [1].

Авторами усовершенствована технология нанесения лака на крупногабаритные сложнопрофильные изделия с использованием многокомпонентного раствора жидких пленок. При этом в контактном пространстве создают разрежение 0,06-0,15 атм и подают раствор вязкостью 16-18 с DIN 4/20°C со скоростью 2-3 мм/с, а затем сливают раствор со скоростью 0,5-0,8 мм/с и осуществляют сушку изделия. После сушки на изделие с лаком наносят функциональное покрытие, состоящее из металлов и/или их оксидов. Затем поворачивают изделие на 180° и повторно наносят лак с использованием многокомпонентного раствора жидких пленок.

Усовершенствованное устройство содержит герметичную камеру, стенки которой выполнены из сложнопрофильных элементов с кривизной поверхности, соответствующей кривизне поверхности изделия, донная часть соединена посредством гидронасоса и системы трубопроводов с емкостью, содержащей многокомпонентный раствор, а верхняя часть соединена с вакуумным насосом, при этом она установлена на опорах, расположенных в ее центральной части с возможностью поворота на 180°. При таком повороте верхняя и донная части меняются местами, причем верхняя часть соединяется с емкостью, содержащей многокомпонентный раствор, посредством гидронасоса и системы трубопроводов, а донная часть соединяется с вакуумным насосом.

Усовершенствованная технология обеспечивает получение двух слоев адгезионного и защитного покрытий при суммировании их толщин практически с одной и той же толщиной по всей площади крупногабаритных сложнопрофильных изделий. Это объясняется тем, что при

повороте изделия на 180° получаемый защитный лак полностью компенсирует разнотолщинность адгезионного покрытия, нанесенного ранее.

На рис. 1 наглядно представлены зависимости толщин адгезионного и защитного покрытий, а также зависимость суммарной толщины от расстояния по высоте изделия в условных единицах.

На рис.2 схематически показано устройство, когда герметичная камера находится в положении I.

На рис.3 схематически показано устройство, когда герметичная камера находится в положении II.

Нанесение покрытия осуществляют с использованием многокомпонентного раствора жидкой пленки с последующей сушкой и нанесением многофункционального покрытия, состоящего из оксидов индий-олова, а затем повторно наносят покрытие с использованием многокомпонентного раствора жидких пленок.

В качестве раствора жидкой пленки использовали бесцветный лак полиметилфенилсилсесквиоксан, привитый к наноразмерным глобулам SiO_2 .

В положении I (рис.2) схематически показано нанесение жидкой пленки на изделие 2 из органического стекла со сложной кривизной поверхности. После этого изделие 2 сушат и получают на его поверхности твердый адгезионный полимерный лак. Затем в вакуумной камере на него наносят многофункциональное покрытие из оксидов Sn и In методом магнетронного распыления.

Далее изделие 2 устанавливают в камере 1, отсоединяют запорный кран 13 от вакуумного насоса, а запорный кран 3 отсоединяют от трубопровода 8. Затем поворачивают камеру 1, установленную на опорах 17 в осях 18, на 180° и фиксируют ее положение II (рис.3). Запорный кран 14 соединяют с трубопроводом 8, а запорный кран 11 соединяют с вакуумным насосом 12. В дальнейшем осуществляют нанесение покрытия с использованием многокомпонентного раствора жидких пленок с последующей сушкой полученной жидкой пленки.

Крупногабаритные сложнопрофильные изделия остекления откидной части фонаря самолета, с полученными адгезионным, функциональным и защитным покрытиями, отличаются высокими оптическими показателями, которые удовлетворяют требованиям, предъявляемым к изделиям остекления самолетов и других транспортных средств.

Литература

1. Пат. 2338604 Российская федерация, МПК В05D1/18, В05С 3/09. Способ нанесения покрытий на крупногабаритные сложнопрофильные изделия с использованием многокомпонентного раствора жидких пленок и устройство для его осуществления / Пестов А.В., Пигалев А.Е., Петрачков Д.Н., Кауппонен Б.А., Темных В.И., Самсонов В.И., Ткаченко П.Я., Овсянникова И.Ю., Поминов В.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Обнинское научно-производственное предприятие "Технология". – № 2007110601/12; заявл. 22.03.07, опубл. 20.11.08, бюл. № 32. – 9 с. : ил.

2. Пат. 2190692 Российская федерация, МПК С23С 14/08, С03С 17/36. Низкоэмиссионное покрытие, нанесенное на прозрачную подложку / Суханов А.А., Чудинов Б.М.; заявитель и патентообладатель Суханов А.А., Чудинов Б.М. – № 2001106842/02; заявл. 13.03.01, опубл. 10.10.02.

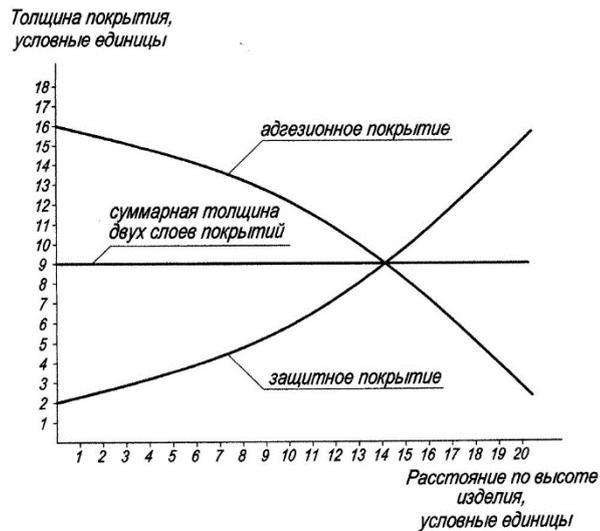


Рис. 1. Зависимости толщин адгезионного и защитного покрытий, зависимость суммарной толщины от расстояния по высоте изделия в условных единицах

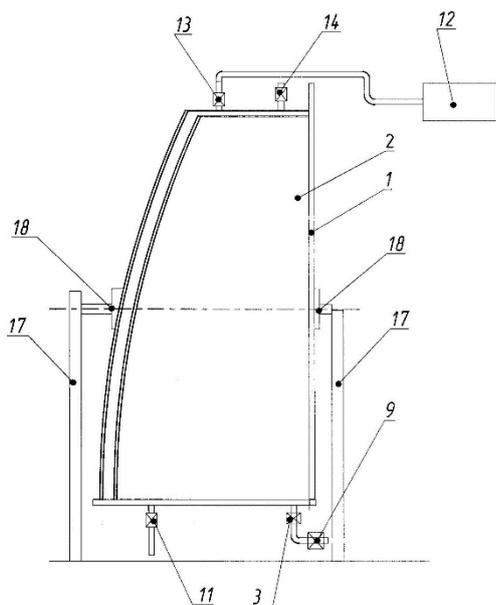


Рис. 2. Нанесение жидкой пленки на изделие (положение I)

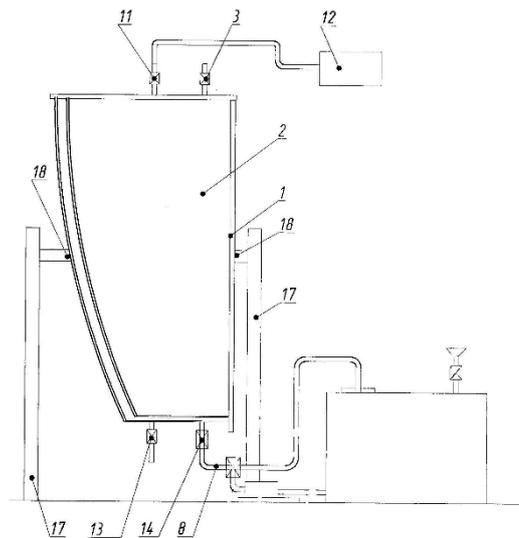


Рис. 3. Поворот камеры на 180° и нанесение жидкой пленки на покрытие из оксидов индий-олово (положение II)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА ВАК-760

А.Н.Исамов, О.Ф.Просовский, С.А.Мурашов, А.Б.Гвоздев
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

В докладе изложена работа по модернизации высокотехнологического оборудования нанесения тонкопленочных покрытий в вакууме. За основу взята вакуумная установка БАК-760, которая была выпущена более 30 лет назад. В настоящее время технологии получения тонкопленочных покрытий очень актуальны и востребованы. Находят широкое применение технологии вакуумного нанесения многослойных покрытий из различного рода материалов. Особенно это актуально при экспериментальной разработке тонкопленочных солнечных элементов, где в композиции покрытия используются различные материалы (оксиды меди, индия, селена, кадмия и другие). Также технологии вакуумного нанесения покрытий применяются в области изделий гражданского назначения: нанесение просветляющих, антибликовых, защитных покрытий для линз очков, фотоаппаратов, фотопечатающих устройств. Особо стоит ряд прецизионных оптических покрытий для изделий специальной техники.

Существующая вакуумная установка типа ВАК-760 имела ряд существенных недостатков. Устаревшие и несовершенные электронно-лучевые напылительные устройства с ручной регулировкой положения луча в тигле не обеспечивали должной стабильности процесса напыления. Также не представлялось возможным получать покрытия, композиция которых состоит более чем из четырех материалов. Кроме того, создание высокого вакуума в камере обеспечивалось при помощи диффузионной системы, характеризующейся наличием паров масла в атмосфере остаточных газов.

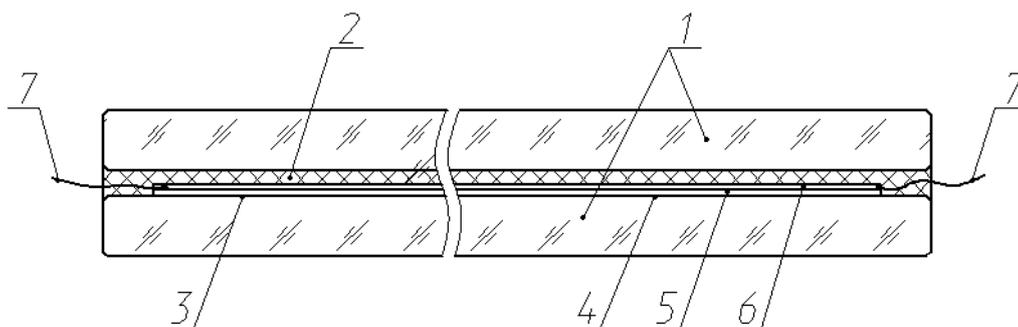
В рамках Федеральной Целевой Программы “СМ” были проведены работы по модернизации данной установки. В результате было создано уникальное оборудование, позволяющее за один технологический процесс получать композицию, состоящую из шести различных материалов. Создание и поддержание глубокого вакуума в камере экспериментальной установки обеспечивается высокопроизводительной криогенной системой, позволяющей существенно сократить время технологического процесса напыления и получить более качественные покрытия за счет высокой чистоты получаемого вакуума. Кроме того автоматизированная система управления технологическим процессом в результате модернизации позволяет сделать сам процесс напыления более стабильным, а результат прогнозируемым.

ЭЛЕКТРООБОГРЕВНОЕ СТЕКЛОИЗДЕЛИЕ

А.Е.Пигалев, Д.Н.Петрачков, А.В.Пестов, Е.В.Кузьмина, В.И.Темных
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г. Обнинск, Россия)

Авторами было разработано и запатентовано электрообогревное изделие остекления с токопроводящими медно-алюминиевыми шинками.

Изделие остекления представляет собой композицию, состоящую, по крайней мере, из двух стёкол 1, соединённых склеивающим слоем 2 (рис.). На внутренней стороне 3 одного из стёкол имеется токопроводящее покрытие 4 из двуокиси олова и контактирующие с ним токопроводящие шинки, расположенные в краевых областях стекла одна напротив другой и соединённые с электропроводными выводами 7. Токопроводящие шинки содержат алюминиевое покрытие 5 шириной 4-5 мм, толщиной 0,045-0,055 мм, контактирующее с токопроводящим покрытием, и медное покрытие 6 шириной $5\pm 0,5$ мм, толщиной 0,075-0,085 мм, контактирующее с алюминиевым покрытием.



Авторами была проведена экспериментальная проверка работы электрообогревных стеклоизделий с применением токопроводящих медно-алюминиевых шинок.

В результате проведённых исследований было установлено, что алюминий имеет хорошую адгезию к токопроводящему покрытию из двуокиси олова, а покрытие из меди имеет хорошую адгезию к алюминиевому покрытию. Хорошие результаты по адгезии были получены у покрытий из алюминия и меди при использовании газодинамического метода нанесения покрытий из порошковых материалов [1].

Экспериментально установлено, что толщина алюминиевого покрытия в пределах 0,045-0,055 мм является оптимальной, так как при её значениях менее 0,045 мм уменьшается ширина зоны, покрываемой алюминием (менее 4 мм), а увеличение толщины более 0,055 мм уменьшает адгезию алюминия к токопроводящему покрытию из двуокиси олова. Ширина алюминиевого покрытия определяется шириной медного покрытия и находится в пределах 4-5 мм для обеспечения хорошей адгезии как с токопроводящим покрытием из двуокиси олова, так и с покрытием из меди. Ширина покрытия из меди находится в пределах $5 \pm 0,5$ мм, а толщина – 0,075-0,085 мм, соответственно. При ширине менее 4,5 мм и толщине менее 0,075 мм возможен перегрев электрообогревного стеклоизделия в местах контакта покрытий из алюминия и меди с токопроводящим покрытием из двуокиси олова. Увеличение ширины покрытия из меди более 5,5 мм и толщины более 0,085 мм неоправданно, так как оно не приводит к улучшению каких-либо показателей электрообогревного стеклоизделия.

В отличие от изделий остекления с силикатно-серебряными токопроводящими шинками [2-3] в настоящее время в ФГУП «ОНПП «Технология» изготавливаются изделия с медно-алюминиевыми шинками, и поставляются на локомотивостроительные и локомотиворемонтные заводы для остекления железнодорожного транспорта.

Недостатком электрообогревных стеклоизделий с силикатно-серебряными шинками является то, что при получении токопроводящих шинок из силикатно-серебряного состава, контактирующих с токопроводящим покрытием из двуокиси олова, используется сложная и продолжительная технология изготовления силикатно-серебряной пасты, которая используется для получения токопроводящих шинок. Кроме этого, использование серебра и проведение дополнительной операции запекания шинок при высокой температуре неоправданно удорожает стоимость электрообогревных стеклоизделий и тем самым снижает их конкурентоспособность.

Разработанное электрообогревное стеклоизделие на основе медно-алюминиевых шинок обеспечивает повышение степени надёжности при его эксплуатации.

Литература

1. Пат. 2109842, 6 С23С 4/04. Способ получения покрытий / А.И. Каширин, О.Ф. Ключев, Т.В. Буздыгар, А.В. Шкодкин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Обнинский центр порошкового напыления – № 97109400/02; заявл. 03.06.97; опубл. 27.04.98.
2. Янишевский В.М., Жуковская Е.А., Резник Н.П. Контакты для стёкол с токопроводящей плёнкой. – Стекло и керамика. – 1960. – № 8. – С. 25-26.

3. Справочник по производству стекла / А.И. Бережной, Ю.А. Бродский и др.; под ред. д-ра техн. наук проф И.И. Китайгородского и канд. техн. наук доц. С.И. Сильвестровича. – М.: Госстройиздат, 1963. – Т.2. – С. 801-811.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОМПОЗИЦИЙ ВЕРТОЛЕТНОГО ОСТЕКЛЕНИЯ

Н.А.Осипова, А.Н.Ромакин, А.Л.Рудаковский (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия), *В.А.Федоров* (ОАО “Камов” г.Люберцы, МО, Россия)

На стадии проектирования и разработки вертолета нового поколения Ка-62 задача создания остекления кабины пилотов решается на первом этапе разработкой птицестойкой композиции. Птицестойкость реального изделия остекления определяется совокупностью конструкционных, технологических и эксплуатационных факторов, учет которых при испытаниях дает наиболее достоверный результат при создании птицестойкой композиции.

Испытания проводились с помощью пневматической пушки ПУ-132. Технические требования: масса птицы – 1 кг, угол соударения – 50 градусов, композиция должна выдерживать удар птицы при скорости соударения – 265 км/час.

Использование органических прозрачных материалов – поликарбоната, полиметилметакрилата, полиуретана и др. позволяет получить минимальный удельный вес композиции, но значительное изменение основных физико-механических свойств этих материалов (прочность, модуль упругости, ударная вязкость) в диапазоне эксплуатационных температур (-60 – +60°C) неизбежно влияет на уровень птицестойкости.

Для оценки влияния температуры испытаний был спроектирован и изготовлен стенд, позволяющий испытывать композиции при положительных и отрицательных температурах. Испытания показали, что при положительных температурах опыта композиция ведет себя как упругопластический материал. При отрицательных – материалы становятся чисто упругими, при этом уровень птицестойкости снижается.

Способ опирания композиции при испытаниях во многом определяет уровень птицестойкости. Для имитации реальных условий закрепления, с учетом всех условий проведения опытов, в конструкцию стенда были введены элементы оконного проема кабины пилотов – центральная стойка и верхняя полка опирания, а также имитатор второго стекла кабины пилотов. Апробированы различные способы фиксации композиций на стенде. Помимо испытаний различных композиций остекления проведены испытания на птицестойкость центральной стойки оконного проема кабины.

По результатам опытов одна из испытанных композиций может быть рекомендована в качестве базовой при разработке технологии изготовления остекления вертолета Ка-62.

ФОРМА ДЛЯ МОЛЛИРОВАНИЯ ЛИСТОВОГО СТЕКЛА

А.В.Пестов, И.В.Антонов, Б.А.Кауппонен, Н.А.Силенок, И.А.Лисютина (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

На одном из этапов развития и совершенствования аэродромного оборудования перед авторами поставили задачу получения угла рассеяния по горизонтали для светосигнальных огней приближения более 15°.

Ранее была разработана форма для моллирования листового стекла, содержащая две формующие поверхности с заданной кривизной и участки поверхности с отклонением от заданной кривизны в двух диаметрально расположенных секторах формы [1]. В указанных

секторах выполнены углубления в виде тел вращения с треугольным сечением и шириной рабочих граней 5-10 мм.

Авторами была разработана форма для моллирования листового стекла, содержащая две формующие поверхности с заданной кривизной и участки поверхности с отклонением от заданной кривизны в двух диаметрально расположенных секторах формы. Причем формующие поверхности, полученные по обе стороны плоскости, проходящей через осевую линию формы, повернуты относительно плоскости с образованием угла поворота между формующими поверхностями 2-4°, при этом вершина угла поворота расположена на осевой линии формы в точке ее касания с формующими поверхностями.

Авторами установлено, что угол поворота между формующими поверхностями формы в диапазоне 2-4° обеспечивает получение отражателей с увеличением рассеяния по горизонтали более чем 15° за счет развертки отраженных лучей по горизонтали. Уменьшение угла поворота формующих поверхностей друг относительно друга менее 2° не позволяет увеличить рассеяние полученных отражателей по сравнению с отражателями, полученными ранее [1]. Увеличение угла поворота между формующими поверхностями более чем на 4° увеличивает общее рассеяние полученных отражателей по всем направлениям с одновременным уменьшением рассеяния по горизонтали.

Как показано на рис., форма моллирования 1 с заданной кривизной формующих поверхностей 2 имеет участки с отклонением от заданной кривизны, выполненные в двух диаметрально расположенных секторах 3 этой формы.

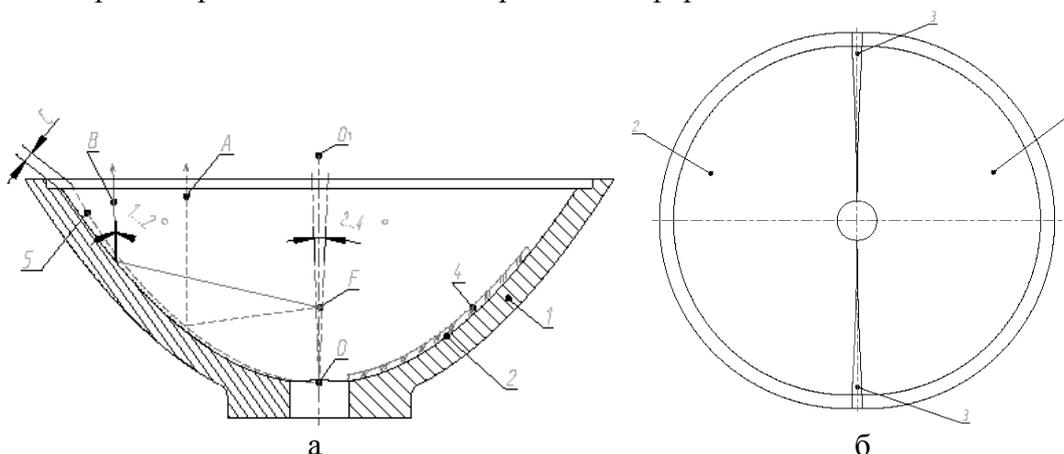


Рис. Форма для моллирования листового стекла: разрез (а), вид сверху (б)

Полученные по обе стороны плоскости (на рисунке не показаны), проходящие через осевую OO_1 линию формы 1, формующие поверхности 2 повернуты относительно этой плоскости с образованием угла поворота между ними 2-4°. Вершина угла поворота между формующими поверхностями 2 расположена на осевой OO_1 линии формы 1 в точке O ее касания с формующими поверхностями. На рис. 1 показано конечное положение гнутой стеклозаготовки 4 на формующей поверхности 2 формы 1.

Штриховой линией 5 показано положение формующей поверхности 2 формы 1 без поворота формующих поверхностей 2 (или с поворотом в 0°). Максимальное смещение между положением формующих поверхностей 2 при их повороте от 0 до 4° имеет величину C и зависит как от угла поворота, так и от геометрических размеров формы 1, в частности, от величины ее диаметра. На рис. 1 показано также фокусное расстояние F и направление лучей отражения A без поворота формующих поверхностей 2 (параллельно осевой OO_1 линии) и направление лучей отражения B с поворотом формующих поверхностей 2 (с отклонением от осевой OO_1 линии на 1-2°).

Была поставлена задача – получить отражатель параболический, образующая которого соответствует формуле

$$y^2 = 4FX,$$

где $F = 24$ мм, толщина отражателя – $3 \pm 0,1$ мм, диаметр – 156 мм, угол рассеяния по горизонтали которого должен быть 17° .

Для получения отражателя использовали форму моллирования 1, изготовленную из нержавеющей стали марки 12Х 18НЮТ с формующими поверхностями 2, образующая которых соответствует формуле

$$y^2 = 4F(x + 3),$$

где $F = 24$ мм, толщина стеклозаготовки – 3 мм.

При этом форма 1 имеет участки с отклонением от заданной кривизны, выполненные в двух диаметрально расположенных секторах 3 формы 1. Полученные по обе стороны плоскости, проходящие через осевую OO_1 линию формы 1, формующие поверхности 2 повернуты относительно этой плоскости с образованием угла поворота 2° между формующими поверхностями 2. Причем вершина угла поворота между формующими поверхностями 2 расположена на осевой OO_1 линии формы 1 в точке O ее касания с формующими поверхностями 2. Величина диаметра полученной гнутой стеклозаготовки 4 – 156 мм, толщина $3 \pm 0,1$ мм.

Полученные отражатели с использованием предложенной формы моллирования листового стекла удовлетворяют заданному требованию по углу рассеяния 17° по горизонтали и используются в аэродромных светосигнальных огнях приближения.

Литература

1. Пат. 2352530 Российская федерация, МПК C03B 23/02. Способ моллирования листового стекла и форма для его осуществления / Пестов А.В., Антонов И.В., Кауппонен Б.А., Силенок Н.А., Лисютин С.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие “Обнинское научно-производственное предприятие “Технология”. – № 2007120978/03; заявл. 04.06.07, опубл. 20.04.09, бюл. № 11. – 6 с. : ил.

ФОРМА МОЛЛИРОВАНИЯ, СОСТОЯЩАЯ ИЗ ДВУХ СОЧЛЕНЕННЫХ МЕЖДУ СОБОЙ ПАРАБОЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

А.В.Пестов, И.В.Антонов, Б.А.Кауппонен, Н.А.Силенок, В.А.Шаталин
(ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Рассматриваемая форма применяется для получения гнутых изделий, используемых в качестве отражателей для аэродромных светосигнальных огней приближения. Одним из основных требований к такого рода изделиям является угол рассеяния световых лучей по горизонтали. Очередной задачей авторов было получение светосигнальных огней приближения с углом рассеяния по горизонтали более 17° .

На более ранних стадиях при получении отражателей для аэродромных светосигнальных огней приближения с углом рассеяния по горизонтали 15° [1] и 17° авторами были разработаны формы для моллирования листового стекла.

Форма для моллирования листового стекла содержит формующую поверхность с заданной кривизной, при этом формующая поверхность выполнена из двух сочлененных между собой поверхностей, каждую из которых рассчитывают по формуле

$$(Y \pm A)^2 + Z^2 = 4FX, \quad (1)$$

где X, Y, Z – координаты, F – фокусное расстояние, A – расстояние между линией сочленения и параллельными ей линиями, проходящими через фокусы поверхностей (данная величина изменяется в пределах от 3 до 4 мм).

Установлено, что наличие двух фокусов на формующей поверхности формы, расположенных на расстоянии от 3 до 4 мм от линии сочленения двух формующих поверхностей, каждую из которых рассчитывают по формуле (1), обеспечивает получение отражателей с увеличением рассеяния по горизонтали более чем 17° за счет развертки отраженных лучей по

горизонтали. Уменьшение величины A менее 3 мм не приводит к увеличению рассеяния полученных отражателей по сравнению с отражателями, полученными на форме. Увеличение величины A более чем 4 мм увеличивает общее рассеяние полученных отражателей по всем направлениям с одновременным уменьшением рассеяния по горизонтали.

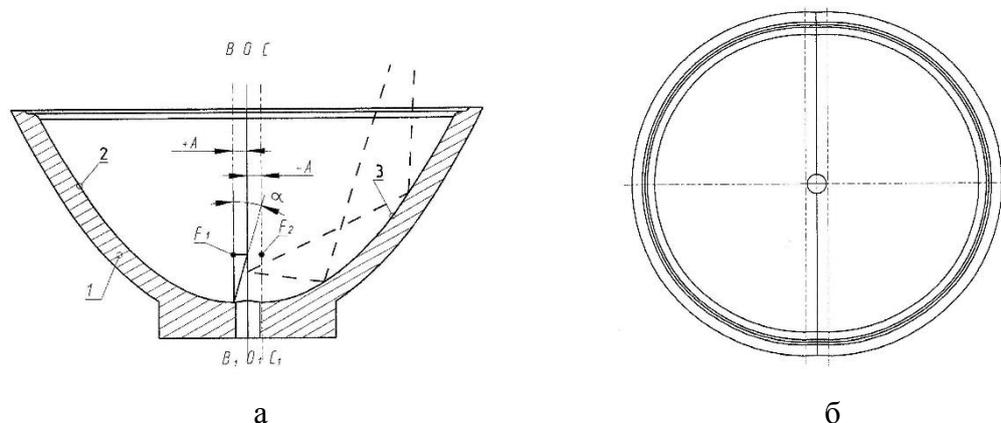


Рис. Форма для моллирования листового стекла: разрез (а), вид сверху (б)

Как показано на рис., форма моллирования 1 с заданной кривизной формующей поверхности выполнена из двух, сочлененных между собой по линии OO_1 поверхностей 2 и 3. При этом поверхность 2 рассчитывают по формуле $(Y + A)^2 + Z^2 = 4F_1X$, а поверхность 3 рассчитывают по формуле $(Y - A)^2 + Z^2 = 4F_2X$. Фокусы обеих поверхностей расположены на расстоянии A от линии сочленения OO_1 и находятся на параллельных ей линиях BB_1 и CC_1 . Лучи, отраженные от поверхностей 2 и 3, рассеиваются по горизонтали за счет наличия в формующей поверхности двух фокусов F_1 и F_2 . При этом тангенс угла (α) разворота лучей по горизонтали равен отношению величины A к $F_{1,2}$.

В ОНПП “Технология” было налажено производство отражателей для использования их в аэродромных светосигнальных огнях приближения. Заданный угол рассеяния (α) по горизонтали составляет 19° , а фокусное расстояние $F_{1,2}$ равно 23,9 мм. Величина A определяется из соотношения

$$\operatorname{tg}19^\circ = A/23,9 \text{ мм} \quad (2)$$

и в данном случае равна 4 мм.

Таким образом, форма моллирования 1 выполняется из двух, сочлененных между собой по линии OO_1 поверхностей 2 и 3. При этом поверхность 2 выполнена по уравнению

$$(Y + 4)^2 + Z^2 = 4 \times 23,9 \times X, \quad (3)$$

а поверхность 3 соответственно

$$(Y - 4)^2 + Z^2 = 4 \times 23,9 \times X. \quad (4)$$

Для получения отражателя использовали форму моллирования 1, изготовленную из нержавеющей стали марки 12Х 18Н10Т.

Отражатели, полученные с использованием новой формы моллирования, удовлетворяют заданному требованию по углу рассеяния 19° по горизонтали и используются в аэродромных светосигнальных огнях приближения.

Литература

1. Пат. 2352530 Российская федерация, МПК C03В 23/02. Способ моллирования листового стекла и форма для его осуществления / Пестов А.В., Антонов И.В., Кауппонен Б.А., Силенок Н.А., Лисютин С.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие “Обнинское научно-производственное предприятие “Технология”. – № 2007120978/03; заявл. 04.06.07, опублик. 20.04.09, бюл. № 11. – 6 с. : ил.

УСТРОЙСТВО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА МОЛЛИРОВАНИЯ СТЕКЛОЗАГОТОВОК НА ФОРМЕ

А.В.Пестов, Л.И.Максимова (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Разработано устройство регулирования процесса моллирования стеклозаготовок на форме, содержащее вакуумную систему с блоком управления, электроды, укрепленные на форме, блок сигнализации, соединенный с входом блока управления вакуумной системой, при этом электроды укреплены на формующей поверхности формы на расстоянии, соответствующем $2/3$ расстояния между верхней кромкой формы и верхней кромкой смоллированной стеклозаготовки, и соединены с блоком сигнализации [1].

Данное устройство позволяет моллировать стеклозаготовки до кривизны, близкой к заданной, под действием собственного веса без приложения каких-либо дополнительных усилий. В момент достижения стеклозаготовкой расстояния, соответствующего $2/3$ расстояния между верхней кромкой формы и верхней кромкой смоллированной стеклозаготовки, происходит замыкание электрической цепи между электродами, укрепленными на формующей поверхности формы, ввиду того, что стекло электропроводно при температуре его размягчения. Блок сигнализации подает сигнал на блок управления вакуумной системой, который выдает команду на включение вакуумной системы, стеклозаготовка моллируется до заданной кривизны поверхности под действием вакуума. При этом стеклозаготовка не может иметь перекоса относительно формующей поверхности формы, так как она имеет кривизну поверхности, близкую к заданной. В случае появления “осыпи” в краевой кромке стеклозаготовки появившиеся частицы стекла не могут проникнуть внутрь пространства между стеклозаготовкой и формующей поверхностью формы, так как краевая область стеклозаготовки плотно прилегает к формующей поверхности формы. Укрепление электродов на расстоянии, соответствующем $2/3$ расстояния между верхней кромкой формы и верхней кромкой смоллированной стеклозаготовки, обеспечивает получение стеклозаготовок без их перекоса относительно формующей поверхности формы с высокими оптическими показателями. Укрепление электродов на расстоянии менее $2/3$ расстояния между верхней кромкой формы и верхней кромкой смоллированной стеклозаготовки приводит к перекосу стеклозаготовок при воздействии вакуума. Укрепление электродов на расстоянии более $2/3$ расстояния между верхней кромкой формы и верхней кромкой смоллированной стеклозаготовки нецелесообразно, так как при этом увеличивается по времени процесс моллирования стеклозаготовок под действием собственного веса без какого-либо положительного эффекта.

Следует отметить, что расстояние между верхней кромкой формы и верхней кромкой смоллированной стеклозаготовки определяется расчетным путем при заданных диаметре моллируемых стеклозаготовок и кривой, образующей формующую поверхность формы.

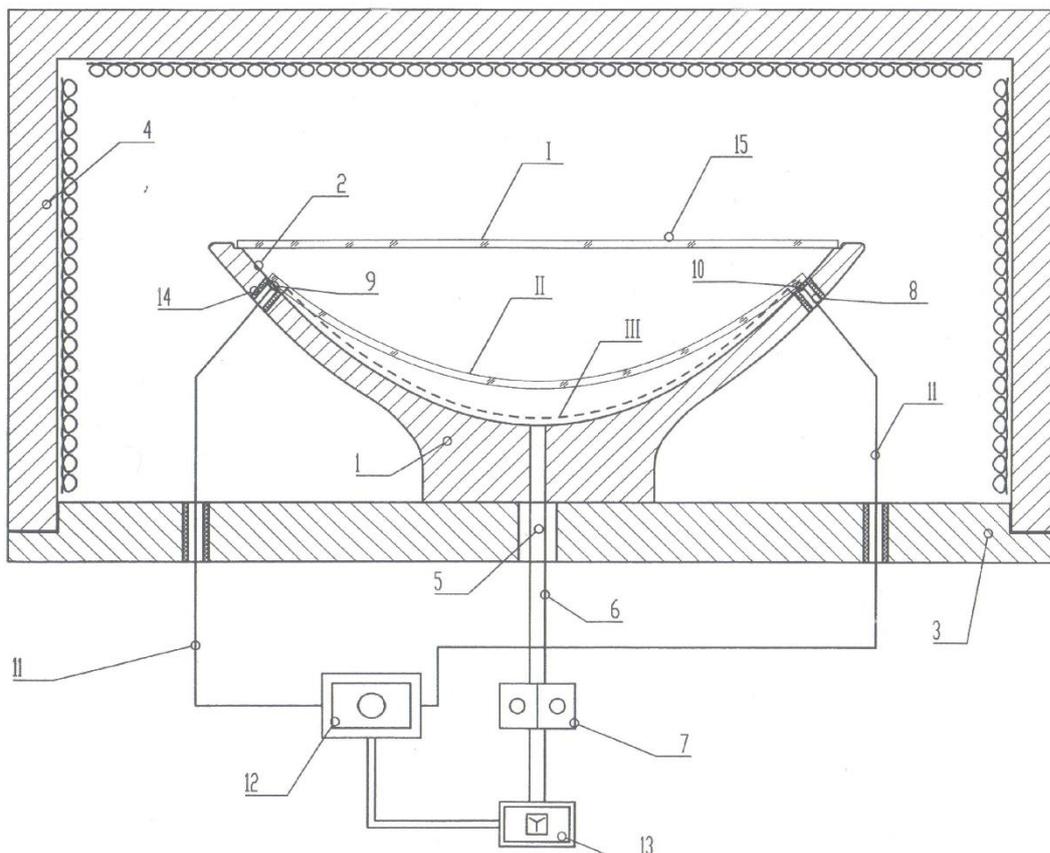
На рис. изображено предлагаемое устройство.

Устройство содержит форму 1, выполненную из формового чугуна с параболической кривизной формующей поверхности 2, соответствующей заданной форме гнутой стеклозаготовки, установленную на поде 3 печи 4. В центральной части формы 1 и пода 3 имеется отверстие 5 для создания вакуума в форме 1 по трубопроводу 6 от вакуумной системы 7. Через отверстие 8 в форме 1 установлены электроды 9 и 10, которые расположены на формующей поверхности 2 на расстоянии, соответствующем $2/3$ расстояния между верхней кромкой формы 1 и верхней кромкой смоллированной стеклозаготовки в диаметрально противоположных сторонах формующей поверхности 2. Электроды 9 и 10 соединены в электрическую цепь проводами 11 через блок сигнализации 12 и блок управления вакуумной системы 13, который соединен с вакуумной системой 7. Для изоляции в форме 1 электродов 9 и 10, а также проводов 11, в ней имеются жаропрочные изолирующие трубки 14, выполненные, например, из кварцевой керамики. На схеме показана также стеклозаготовка 15 в начальном положении I, в положении

II, когда она замыкает электрическую цепь между электродами 9 и 10 в конечном смоллированном положении III.

Таким образом, предлагаемое устройство регулирует процесс моллирования крупногабаритных стеклозаготовок, обеспечивая определение момента начала моллирования стеклозаготовок под действием вакуума, и тем самым позволяет получать стеклозаготовки с высокими оптическими и геометрическими показателями.

Рис.



Устройство регулирования процесса моллирования стеклозаготовок на форме

С помощью предложенного устройства были изготовлены гнутые стеклозаготовки для получения отражателей аэродромных прожекторов. Использовались стеклозаготовки из плоского стекла промышленного состава (ГОСТ 111 - 2001) толщиной 6 мм, диаметром 1180 мм (площадь поверхности – 1,09 м²). Моллирование производилось на форме, изготовленной из формового чугуна с параболической кривизной формирующей поверхности, соответствующей образующей, заданной по формуле

$$y^2 = 4F(x+6), \text{ где } F = 242 \text{ мм.}$$

Из приведенных ниже данных видно, что разработанное устройство позволяет регулировать процесс моллирования стеклозаготовок путем точного определения момента начала моллирования под действием вакуума и тем самым повысить качество крупногабаритных стеклозаготовок со сложной кривизной поверхностью по оптическим и геометрическим показателям за счет исключения их перекосов относительно формирующей поверхности формы по сравнению с устройством без регулирования процесса моллирования стеклозаготовок на форме.

№ п/п	Наименование параметров	Достиженные показатели	
		с использованием разработанного устройства	без использования устройства
1	Недопустимый перекося стеклзаготовок относительно формирующей поверхности формы, %	отсутствует	45
2	Недопустимые оптические искажения на поверхности стеклзаготовок, %	отсутствуют	55

Литература

1. Пат. 2342332 Российская федерация, МПК С03В 23/023. Устройство регулирования процесса моллирования стеклзаготовок на форме / Пестов А.В., Максимова Л.И.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие “Обнинское научно-производственное предприятие “Технология”. – № 2007113406/03; заявл. 10.04.07, опубл. 27.12.08, бюл. № 36. – 5 с. : ил.

ПОЛИМЕР-АССИСТИРУЕМЫЙ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

* *А.В.Агафонов*, * *О.И.Давыдова*, ** *В.И.Самсонов*, * *В.Н.Тростин*, ** *В.В.Викулин*
 (*Учреждение РАН ИХР, г.Иваново, **ФГУП “ОНПП ”Технология”, г.Обнинск, Россия)

В докладе рассмотрены возможности нового подхода к формированию функциональных неорганических покрытий – полимер-ассистируемого золь-гель синтеза. Представляемый подход базируется на получении тонких функциональных покрытий с использованием золь-гель процесса, модифицированного введением в реакционную систему полифункциональных полимеров, выполняющих функцию координирующего агента по отношению к ионам металлов, регулятора вязкости, определяющего возможность управления толщиной пленки, пластифицирующего и выравнивающего агента, позволяющего повысить сплошность и равномерность наносимого покрытия. Получение функциональных покрытий основано на проведении золь-гель процесса (включая одновременное использование нескольких прекурсоров) в растворах полимеров, нанесение пленки на поверхность подложки, сушку и обжиг.

Рассмотрены возможности получения пленок из диоксида титана на поверхности стекла.

Рассматриваемый подход имеет определенные преимущества по сравнению с традиционными способами получения тонких покрытий – газофазной эпитаксией и магнетронным напылением, поскольку не требует применения высоковакуумной техники, легко летучих агентов и специальной организации производства.

ЛИТОЕ ОРГАНИЧЕСКОЕ СТЕКЛО PLEXIGLAS GS 249, GS 245: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОСТЕКЛЕНИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ

Д.В.Павловский, *А.А.Томашевский* (“Эвоник Химия”, г.Москва, Россия, ГП “Антонов”, г.Киев, Украина), *Н.С.Найденова*, (ФГУП “ОНПП “Технология”, г.Обнинск, Россия)

Существующая на рынке СНГ нехватка российского органического стекла (особенно толстых номиналов 30, 36 и 50 мм) вынуждает производителей авиационной техники обращаться к зарубежным аналогам.

Наиболее известными и широко применяемыми для остекления авиационной техники марками органического стекла являются марки Plexiglas GS 245 и Plexiglas GS 249 производства компании “Эвоник Рём ГмбХ” (Германия). При этом Plexiglas GS 249 отличается повышенной прочностью и химической стойкостью, за счет введения поперечных связей между макромолекулами.

В соответствии с утвержденной ГП “Антонов” и ОНПП “Технология” программой испытаний материала Plexiglas GS 249 на базе Обнинского научно-производственного предприятия “Технология” и Государственного предприятия “Антонов” были проведены сравнительные испытания физико-механических характеристик и оптических свойств неориентированных органических стекол СО-120А и Plexiglas GS 249, а также ориентированных органических стекол АО-120 и Plexiglas GS 249.

Результаты сравнительных испытаний для ориентированных стекол приведены в табл.

Наименование показателей	Метод испытаний	Единицы измерений	Допустимое значение по ТУ 1-596-43-97	АО-120	Plexiglas GS 249
				Толщина материала, мм	
				24	24
Ударная вязкость	ГОСТ 4647-80	кДж/м ²	Не менее 30	37,3	34,1
Прочность при растяжении	ГОСТ 11262-80	кгс/см ²	Не менее 850,0	960,0	965,5
Относительное удлинение при разрыве	ГОСТ 11262-80	%	не менее 15	18,0	17,8
Серебростойкость (в ацетоне)	ТУ 6-02-5757599-121-90	минут	не менее 3	не менее 3	не менее 3
Степень ориентации	ПИ 1.2.315-89	%	от 40 до 60	42,0	44,0
УФ пропускание. Среднее по 3 образцам	ПМ 596.1523-2001		0	0	0
Цвет стекла	-	-	-	прозрачное	прозрачное

На ГП “Антонов” проведены испытания на птицестойкость стекла форточного самолета АН-140 (АН-72), изготовленного из ориентированного материала Plexiglas GS 249 толщиной 24 мм, а также проводятся ресурсные испытания деталей остекления самолетов АН-148, АН-32, изготовленных из ориентированного и неориентированного материала Plexiglas GS 249.

По заключению ГП “Антонов” (Отчет об испытаниях материала Plexiglas GS 249 производства “EVONIK Rohm GmbH” от 19.04.2010 г., инженерные анализы № 148.01.7302.504.027Д19 и № 400.00.073.011Д13) материал Plexiglas GS 249 рекомендован в качестве альтернативной замены стекол СО-120 и АО-120 для остекления фонаря кабины экипажа и пассажирского салона изделий АН.

В настоящее время из ориентированного материала Plexiglas GS 249 изготовлено и успешно эксплуатируется остекление кабины экипажей самолетов АН-124 и АН-32.

Государственный научный центр Российской Федерации



ОНПП "ТЕХНОЛОГИЯ"

- КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ
- РАДИОПРОЗРАЧНЫЕ КОНСТРУКЦИИ
- КОНСТРУКЦИОННАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КЕРАМИКА
- ИЗДЕЛИЯ КОНСТРУКЦИОННОЙ ОПТИКИ
- ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
- НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОРАЗМЕРНЫЕ ПОКРЫТИЯ,
НАНОМАТЕРИАЛЫ



"ОНПП "Технология", ГНЦ РФ
Россия, 249031, г.Обнинск Калужской обл., Киевское шоссе, 15
+7 (48439) 6-28-41, +7 (495) 232-10-45, факс (48439) 6-45-75
E-mail: info@technologiya.ru, <http://www.technologiya.ru>



Владимир Васильевич Видулин
Генеральный директор,
доктор технических наук,
профессор, академик
Международной инженерной
академии (МИА) и Всемирной
академии керамики (WAC)

Основанное в октябре 1959 г. Федеральное государственное унитарное предприятие “Обнинское научно-производственное предприятие “Технология” является одним из лидеров в области создания новых материалов, уникальных конструкций и технологий, производства наукоёмкой продукции из полимерных композитов, керамических и стеклообразных материалов для авиационной и ракетно-космической техники.

Глубокие исследования в области технологии полимерных композиционных материалов позволяют разрабатывать и производить углепластиковые оболочки головных обтекателей, ступеней ракет-носителей; размеростабильные конструкции и высокоточные панели систем терморегулирования космических аппаратов; интегральные агрегаты фюзеляжа, крыла, хвостового оперения, пассажирских самолетов и перспективного авиационного комплекса фронтовой авиации.

Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП “ОНПП “Технология” является головным российским разработчиком и производителем радиопрозрачных обтекателей и других изделий из кварцевой керамики, стеклопластиков и стеклокерамики для ракет различных классов.

Достижения ФГУП “ОНПП “Технология” в разработке конструкций и технологии производства материалов на основе стекла позволяют обеспечить современные требования к остеклению самолетов и вертолетов по весовым, прочностным, оптическим, противообледенительным и другим функциональным характеристикам.

Совершенствование материалов и технологий с применением нанотехнологий, создание новых функциональных полимерных материалов, сотовых наполнителей, препрегов, технологий их производства является важным конкурентным преимуществом предприятия.

