

Глава 3

НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ, МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ

Д.В. ГРАЩЕНКОВ, Л.В. ЧУРЦОВА

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время на мировом рынке обращает на себя внимание смещение акцента в применении конструкционных материалов – от металлических к неметаллическим. Анализ зарубежных источников, а также общие тенденции развития материаловедения показывают, что сегодня интенсивно ведутся разработки и исследования в области композиционных материалов (КМ), армирующих компонентов, связующих для них и технологий их переработки в высокотехнологичную наукоемкую продукцию с большой долей инновационной составляющей. Такие разработки проводят фирмы США, Японии, Евросоюза, Китая, Индии, Юго-Восточной Азии, Южной Америки, ориентирующиеся на переход от исследовательских работ к их коммерческому использованию. Мировой объем рынка в секторе композиционных материалов приближается к 60 млрд евро. С учетом ежегодного всемирного темпа роста 5–10% к 2015 году он может достичь 80 млрд евро. Общий объем мирового производства КМ составляет >8 млн тонн, а объем продаж не превышает 40 млрд евро, при этом доля производств изделий из КМ составляет практически половину этого рынка.

В России сегменты рынка наукоемких конструкционных композиционных и специальных функциональных материалов и изделий из них (за исключением авиации, космонавтики и атомной промышленности) практически не освоены несмотря на то, что имеются благоприятные технологические и научные предпосылки для этого.

Так, один из основных классов полимерных композиционных материалов (ПКМ) – углепластики – в сочетании с высокой прочностью обеспечивают в силовых конструкциях высокую эксплуатационную надежность и долговечность, что, помимо традиционных областей применения (авиация, космонавтика, судостроение), крайне актуально в строительной индустрии, энергетике, машиностроении, конструкциях дорожной инфраструктуры (в частности, мостовые сооружения) и других отраслях.

Необходимо отметить, что производство композиционных и функциональных материалов нового поколения – одно из самых быстро развивающихся в мире направлений, которое вносит наибольший вклад в увеличение валового внутреннего продукта в каждом регионе мира. Согласно

установившейся в мировой практике оценке, более 80% приоритетных разработок новой техники в ведущих областях экономики будет определяться созданием новых материалов и высоких технологий. Новейшие технологии в области материаловедения должны стать объектом государственной политики стимулирования экономического роста, а также базой для трансформации организационной структуры экономики.

Основные принципы создания материалов нового поколения основаны на результатах фундаментальных и фундаментально-ориентированных исследований, полученных ведущими научно-исследовательскими организациями совместно с институтами РАН, и базируются на следующем постулате: неразрывность материалов, технологий и конструкций, включая использование «зеленых» технологий при создании материалов и комплексных систем защиты, а также реализацию полного жизненного цикла (с использованием IT технологий) – от создания материала до его эксплуатации в конструкции, диагностики, ремонта, продления ресурса и утилизации.

Однако сегодня в России многие исходные компоненты, связующие и волокна относительно дороги или дефицитны: стоимость нефти до мирового финансового кризиса динамично росла, и, соответственно, постоянно увеличивалась стоимость компонентов для производства новых материалов синтетического происхождения. В период кризиса невыгодно было продавать химические компоненты по «бросовым ценам», так как исходное нефтяное сырье было закуплено еще в докризисный период. Сегодня вернулась тенденция роста стоимости нефтяного сырья, и ожидать снижения цен на компоненты для композиционных и функциональных материалов возможно только при создании новых энергоэффективных и более производительных технологических решений. Кроме того, некоторые передовые технологические процессы, например, процессы изготовления ПАН-прекурсоров, принадлежат крупным японским или американским химическим концернам, по существу являющимися монополистами в данном сегменте высокотехнологичной продукции.

Основными представителями на внутреннем рынке Российской Федерации пока еще являются российские компании. Однако в последнее время ввиду отставания уровня отечественных разработок в данной области наметилась тенденция вытеснения российской продукции иностранными компаниями как в части конструкционных, так и в части функциональных материалов для различных сегментов промышленности.

В России должна быть создана альтернатива импортным материалам нового поколения – исходя из соображений национальной, экономической и технологической безопасности; с целью устранения монопольного диктата цен зарубежными поставщиками; сохранения отечественных конструкторских, технологических коллективов, уникальной производственно-экспериментальной и стендовой базы, а также повышения уровня подготовки специалистов в соответствующей области.

Резкое снижение объемов потребления продукции российского производства при переходе на зарубежные аналоги может привести к ликвидации действующей производственной базы, имеющей особо важное значение для обеспечения обороноспособности страны.

Одной из причин, определяющей то, что отечественная продукция на сегодняшний день не является конкурентоспособной не только по качественным характеристикам, но и по ценовым показателям, является

узкая специализация производителей в определенном сегменте рынка. В то же время основные зарубежные производители обеспечивают свою конкурентоспособность по ценовой политике в высокотехнологичном сегменте (авиа- и ракетостроение, судостроение и т.п.) за счет реализации основной части своей продукции (с более низкими показателями как по характеристикам, так и по затратам) в других отраслях промышленности: строительной, энергетической, автомобильной и др.

Применение материалов нового поколения позволяет сегодня многим компаниям создать условия для роста рентабельности своей продукции, а тенденции развития технологий неуклонно расширяют область их применения. С другой стороны, современные рыночные механизмы приводят к созданию групп компаний, инвестирующих крупные средства в исследование и развитие нового поколения композиционных и функциональных материалов.

Необходимо отметить, что существенное обновление используемых в производстве технологий происходит приблизительно один раз в 10 лет, но внутри этого цикла идет непрерывное качественное развитие существующих технологий. Такая динамика свойственна мировой практике, однако в Российской Федерации качественного изменения технологических решений в области новых материалов не наблюдалось на протяжении 20–25 лет, и только в последние 2–3 года это направление промышленности испытывает потребность в активном возрождении. Это требует консолидации всех материальных и административных ресурсов при достижении общих целей стратегии устойчивого, ресурсно-возобновляемого развития различных отраслей промышленности как конечного результата потребностей экономики страны. Необходим качественный технологический скачок, определяющий развитие науки и промышленности Российской Федерации в этой области с целью восстановления паритета с ведущими зарубежными странами и обеспечения конкурентоспособности российской продукции в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

При этом надо учитывать, что основные типы продукции в обозначенном сегменте как в России, так и в мире сменяются один раз в 10–15 лет, а основными барьерами на пути разработки и распространения новых технологий и материалов являются такие факторы, как возможность их применения при создании военной и специальной техники, а также ограниченный спрос и высокая стоимость высокотехнологичного оборудования для производства материалов и изделий из них.

В ближайшем будущем следует ожидать развития подобных тенденций и в обрабатывающей индустрии, связанной с изготовлением изделий и целых конструкций из материалов нового поколения. При этом особенно ценным свойством новых материалов, например ПКМ, является легкость их обработки, что дает возможность придавать изделиям разнообразные, даже самые сложные формы. «Бесстружечная» обработка этих материалов (литье, прессование, экструзия) значительно снижает стоимость изготавливаемых изделий.

Производственные процессы изготовления изделий с применением ПКМ уже сегодня подверглись значительным изменениям. Рост применения композиционных материалов в различных изделиях и увеличение объемов их производства требуют значительного повышения автоматизации технологических процессов. Анализируя мировой опыт, можно отметить, что сегодня уровень автоматизации на производственных

предприятиях Европы и США составляет 84%, Азии: 69%. К примеру, объем производства самолетов фирмы «Boeing» с применением композиционных материалов составляет 30 лайнеров в месяц.

Без современных программных продуктов для автоматизированного проектирования и производства, а также высокопроизводительного оборудования для автоматической выкладки композиционных материалов эффективное производство невозможно.

Кроме того, современные подходы к реализации технологических и конструкторских решений в области ПКМ потребуют внедрения обновленных программ обучения студентов, аспирантов и повышения квалификации инженеров, технологов и конструкторов.

Основным фактором отставания российской промышленности от мирового уровня является, по существу, отсутствие современных производств, оснащенных специализированным перерабатывающим и другим технологическим оборудованием, чистыми помещениями и т.п., а также недостаточный объем финансирования научных разработок за последние 10 лет и отсутствие развитых внутренних рынков сбыта продукции, что определило невыгодным развитие индустриальной базы в данном сегменте.

Сегодня ситуация кардинальным образом меняется: российский рынок не только открывается для высокотехнологичной наукоемкой продукции, но и испытывает явную потребность в развитии производства сектора новых материалов, а накопленный научно-технический задел в данной области очевидно достаточен для значительного технологического прорыва.

Решение поставленных задач позволит создать дополнительные рабочие места за счет организации специализированных участков и производств по подготовке исходных компонентов, полуфабрикатов и изготовлению деталей и узлов перспективных конструкций, в том числе так называемых чистых помещений – цехов в различных отраслях промышленности, и сделает отечественную техническую продукцию конкурентоспособной на зарубежном и российском рынках.

Как показал анализ Национальных планов и стратегий США и стран ЕС в области исследований, разработок и развития соответствующей инфраструктуры для различных отраслей промышленности и секторов экономики, одним из ключевых направлений создания перспективных изделий являются материалы, новейшие технологии их переработки и применения в конструкциях. На данный момент в части композиционных и функциональных материалов в мире прослеживаются тенденции развития следующих направлений:

- интеллектуальные материалы;
- метаматериалы;
- полимерные и полиматричные композиты;
- молекулярный дизайн;
- самодиагностика, наносенсоры;
- долговечная керамика;
- слоистые материалы;
- компьютерные методы прогнозирования электрических/механических/физических свойств и конструирования;
- наноструктурированные и гибридные материалы и покрытия.

Исходя из проведенного анализа научно-технического развития в области разработки и использования композиционных и функциональных

материалов и учитывая сложившиеся мировые тенденции, сырьевые и ресурсные возможности России – задача разработки комплекса базовых технологических решений для создания нового поколения таких классов материалов, включая армирующие волокнистые наполнители и высокодеформативные связующие, а также развития ряда смежных отраслей производства химических компонентов и вспомогательных материалов, с созданием новых подходов к моделированию технологических процессов и проектированию изделий с применением материалов нового поколения – является весьма актуальной. Уже просматриваются новые образцы следующих поколений изделий ВВСТ, продукции гражданского и двойного назначения, но их создание невозможно без новых материалов и технологических решений.

Для решения задач, определенных в стратегиях развития российских интегрированных структур по созданию перспективных образцов сложных технических систем, и принимая во внимание тенденции развития материалов в мире, определены Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки, одобренные решением Научно-технического совета Военно-промышленной комиссии при Правительстве Российской Федерации (решение от 2.12.2011 г. № НТС(ВПК)-27прс). В части композиционных и функциональных материалов в качестве наиболее актуальных определены следующие направления:

- «умные» конструкции;
- интеллектуальные, адаптивные материалы и покрытия;
- металломатричные и полиматричные композиционные материалы;
- полимерные композиционные материалы;
- высокотемпературные керамические, теплозащитные и керамоподобные материалы;
- наноструктурированные, аморфные материалы и покрытия;
- сверхлегкие пеноматериалы.

При этом развитие указанных направлений неразрывно связано с реализацией и ряда других:

- фундаментально-ориентированные исследования, квалификация материалов, неразрушающий контроль;
- компьютерные методы моделирования структуры и свойств материалов при их создании и работе в конструкции;
- комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия;
- климатические испытания для обеспечения безопасности и защиты от коррозии, старения и биоповреждений материалов, конструкций и сложных технических систем в природных средах.

Предложенная стратегия в данной области предполагает развитие следующих ключевых направлений: разработка с применением методов компьютерного моделирования новых способов синтеза мономеров, олигомеров и полимеров, которые будут использованы для создания новых материалов; создание новых комплексных систем с использованием синтезированных соединений и наноструктур на основе эффектов самоорганизации (в том числе с использованием углеродных наноструктур), обеспечивающих разработку и производство гибридных, андронных, интеллектуальных материалов для «умных» конструкций, в том числе бионического и нейронного типов; разработка интеллектуальных материалов, способных адаптироваться к изменяющимся условиям внешнего

воздействия с целью самосохранения, поддержания своих функциональных свойств и обеспечения работоспособности всей конструкции; разработка ПКМ и функциональных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками (прочность, термостойкость, стойкость к ударным и климатическим воздействиям) конструкционного и специального назначения, армированных и упрочненных различного рода волокнистыми, дискретными и нанонаполнителями; разработка конструкционных и многофункциональных керамических, металлических КМ, теплозащитных материалов и антиокислительных покрытий с повышенной температурой эксплуатации, физико-механическими характеристиками, окислительной и коррозионной стойкостью.

Для развития указанных направлений предусматривается проведение фундаментальных поисковых, проблемно-ориентированных и прикладных исследований, в том числе направленных на отработку технологий изготовления конструктивно-подобных элементов, реальных деталей, узлов и агрегатов с учетом масштабного фактора и параметров работоспособности функциональных, конструкционных материалов и покрытий в составе конструкций.

При этом фундаментальные поисковые исследования должны включать:

- изучение физико-химических принципов радикальной полимеризации в процессе синтеза полиакрилонитрильного полимера (ПАН) и мезофазных пеков для получения сверхвысокопрочных, сверхвысокомодульных и сверхтеплопроводных углеродных волокон нового поколения, а также выявление закономерностей термических и кинетических параметров процессов окисления ПАН-прекурсора, карбонизации, графитизации при получении углеродных волокон;

- исследования в области синтеза новых мономеров, олигомеров, полимерных основ, порофоров, антипиренов и связующих для обеспечения стабильности свойств конструкционных и специальных ПКМ; поиск новых систем аппретирующих составов, обеспечивающих оптимальную совместимость полимерной матрицы (в том числе термопластичной) и наполнителя, повышение адгезионной прочности на границе раздела фаз, отсутствие отрицательного влияния на механизмы отверждения, повышение или стабилизацию процессов образования полимерной сетки и ингибирование процессов ее деструкции, а также поиск способов наномодифицирования (нанотрубками, фуллеренами и другими частицами) связующих и поверхности волокон для существенного улучшения и придания новых свойств ПКМ;

- изучение исходных компонентов и материалов, химических связей и элементного состава в микромасштабе, построение моделей, анализ взаимосвязи физических и химических микроструктур со свойствами полимерных матриц с использованием высокоэффективных хроматографических методов, методов электронной микроскопии, микро- и нанопрофилирования на микро- и наномасштабе;

- исследование особенностей и закономерностей процессов фазообразования, формирования и эволюции каркасной структуры керамических и теплозащитных материалов, заключающихся в дифференциации и химическом взаимодействии компонентов по всему сечению материала в зависимости от термодинамического состояния системы на всех этапах ее синтеза и передела; выявление закономерностей протекания процессов

первичного структурирования растворов в зависимости от природы стартовых реагентов, растворителя и катализатора, начиная от их химического взаимодействия до образования коллоидного состояния мицеллярных структур с последующим их переходом в кластерные каркасы, а также их влияния на химическую активность высокодисперсных систем;

– изучение влияния различия в коэффициентах диффузии ионов на отклонение от стехиометрии в сложных оксидах при получении керамики, керамо- и металлоподобных систем;

– изучение физико-химических принципов в области синтеза новых мономеров, олигомеров, полимерных основ для обеспечения создания пьезоэлектрических полимеров; исследования принципов преобразования различных видов энергии (механической в тепловую, электрическую, магнитную или химическую энергию) с учетом обратных эффектов преобразования; изучение исходных компонентов и материалов, химических связей и элементного состава в микромасштабе, построение моделей, анализ взаимосвязи физических и химических микроструктур со свойствами полимерных матриц, сенсорных и актюаторных элементов с использованием высокоэффективных хроматографических методов, методов электронной микроскопии, микро- и наноиנדентирования на микро- и наноуровне;

– получение теоретических и фундаментальных знаний в области объектов живой природы и возможностей копирования их функций техническими системами; изучение «устройства» и возможностей биологических объектов и их копирование в виде модельных технических систем на базе новых материалов; разработка модельных систем искусственного и синтетического происхождения, воспроизводящих отдельные функции биологических объектов; разработку основ концепции синтеза новых материалов и соединение современных технологических возможностей с достижениями в области познания живой природы (нано-биотехнологии).

Проблемно-ориентированные исследования должны быть направлены на исследование процессов:

– избирательной сорбции компонентов связующих на поверхности волокон, упрочняющих и модифицирующих частиц, механизмов структуро- и фазообразования на границе раздела и межволоконном пространстве, продвижения и распределения нанообъектов в энергетически неравновесных зонах структуры, обеспечивающего залечивание дефектов на нано- и мезоуровнях, возникающих при накоплении повреждений, деградации и разрушения при различных видах воздействия и сред в процессе эксплуатации;

– влияния исходных компонентов на формирование структуры материалов и ее эволюцию в процессе высокотемпературного воздействия посредством послойного исследования внутренней структуры тугоплавких керамических, керамо- и металлоподобных систем, заключающегося в измерении и специализированной цифровой обработке данных по ослаблению рентгеновского излучения при прохождении материалов различной плотности; получения и математической обработки трехмерных моделей образцов новых систем материалов, отражающих их внутреннее строение при выполнении различных срезов виртуальных моделей;

– повышения воспроизводимости структуры керамических, керамо- и металлоподобных систем путем воздействия на систему в области глав-

ного неустойчивого состояния с целью устранения бифуркации – неустойчивого состояния, после которого путь эволюции системы непредсказуем, а также термодинамический анализ возможности протекания химических реакций и термодинамическое моделирование равновесных и неравновесных процессов высокотемпературного взаимодействия тугоплавких составов при получении высокотемпературных КМ;

– создания термически активируемых материалов и материалов, которые могут деформироваться и восстанавливать свою первоначальную форму под воздействием тепла; электрически активируемых материалов – пьезоэлектриков, способных создавать электрический сигнал в ответ на прилагаемое механическое усилие и создание на их основе пьезоэлектрических генераторов; магнитно-активируемых материалов или магнитореологических жидкостей, а также химически активируемых материалов, в том числе самовосстанавливающихся или самозалечивающихся материалов;

– атомно-молекулярного конструирования и самоорганизации на основе атомов и биоорганических молекул, а также разработку составных элементов для гибридных, андронных, интеллектуальных материалов и технологий их синтеза, обеспечивающих реализацию функций самодиагностики, самоадаптации, самозалечивания и самовосстановления.

В части прикладных исследований основное внимание будет уделено следующим приоритетным комплексным проектам:

– разработка термостойких полимерных матриц для высоконагруженных композиционных материалов с повышенной стойкостью к ударным нагрузкам с рабочей температурой до 400°C, связующих для керамоматричных композиционных материалов на рабочие температуры до 1500°C; элементоорганических связующих для пластиков электротехнического, теплозащитного, радиотехнического назначения и систем холодного отверждения, перерабатываемых по различным технологиям;

– исследования биополимеров и полимеров на основе природных материалов для создания ПКМ по экологически безопасным технологиям, а также поиск путей их утилизации или вторичной переработки и разработка полимерных основ для материалов, обладающих функциями самозалечивания, механохромными свойствами, связующих на основе жидкокристаллических полимеров, полимерных матриц, модифицированных наночастицами, – для ПКМ с *n-D* армированием;

– разработка конструкционных углепластиков и стеклопластиков (на основе различных матриц, в том числе термопластичных и текстурных форм наполнителей, а также природного происхождения) с высоким сопротивлением к статическим, повторно-статическим, динамическим нагрузкам; гомогенных органопластиков на основе анизотропных арамидных структур, получаемых путем направленной ориентации макромолекул в аморфной полимерной фазе;

– освоение новых технологических решений по механической обработке конструкций из ПКМ, основанных на подборе материалов и геометрии инструмента, разработке специальных смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) и параметров обработки (скорости резания, глубины резания, скорости подачи и т.д.), при отказе от двухстадийной (черновая обработка – чистовая обработка) в пользу одностадийной технологии, а также исследование альтернативных (гидроабразивная и лазерная)

и новых (с использованием низких температур и ультразвука) технологий обработки;

– разработка сверхлегких пеноматериалов и волокнистых теплозащитных материалов (гибких, жестких, нетканых и текстильных), оптимизированных под конкретные задачи комплексной теплозащиты по критериям теплопроводности, термостойкости, химической стойкости, стойкости к скоростному напору, радиотехническим и экономическим показателям, в том числе многоразовых и абляционных, а также материалов на основе возобновляемых источников растительного сырья;

– создание комплекса композиционных функциональных материалов для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных, акустических и электрических воздействий, снижения заметности в оптическом и радиодиапазонах, обеспечения заданных оптических характеристик конструкций остекления и систем специального назначения. Разработка многофункциональных клеящих систем, эластомерных, уплотнительных и лакокрасочных материалов и покрытий, а также материалов для сверхлегких конструкций, обеспечивающих повышение надежности и ресурса эксплуатации конструкций при воздействии эксплуатационных факторов различной природы;

– разработка нового поколения конструкционных керамических, стеклокерамических монокристаллических и композиционных материалов на основе тугоплавких соединений, обеспечивающих формирование регламентированной структуры, работоспособных до температур 1700–2500°C, стойких к коррозии, с высокой твердостью, износостойкостью, химической инертностью, высокими прочностью и вязкостью разрушения в совокупности с длительным жизненным циклом (незначительной рецессией) в условиях высокотемпературного окисления;

– разработка металлических композиционных материалов на основе Nb, Mo и их интерметаллидов, обладающих повышенной стойкостью к окислению и коррозии, а также высокопрочных и сверхтеплопроводных материалов, армированных частицами и волокнами тугоплавких соединений;

– освоение новых технологических решений и подходов получения термостабильных стеклокристаллических и керамических матриц, покрытий, высокотемпературных композиционных материалов, слоистых металлических и металломатричных композитов, основанных на использовании процессов низкотемпературного синтеза, CIM, in-situ и Spark Plasma Sintering;

– разработка интеллектуальных ПКМ с функцией адаптации к внешним нагрузкам, диагностики напряженно-деформированного состояния и контроля со встроенными оптоволоконными, электрическими, пьезоэлектрическими сенсорами;

– создание интеллектуальных полимерных композиционных материалов второго поколения на основе угле- и органопластиков с введенными в их структуру армирующими высокопрочными коррозионностойкими металлическими материалами с функцией беспроводного мониторинга напряженно-деформированного состояния и адаптации к эксплуатационным воздействиям;

– разработка интеллектуальных полимерных композиционных материалов третьего поколения с изменяемой геометрией, адаптирующихся

к внешним воздействиям благодаря введению актюаторных элементов, действие которых основано на различных физических принципах;

– разработка технологий изготовления андронидных мультиинтегральных конструкций на основе анализа системы «нагрузка–структура» монослоев и моделирования поведения материалов на макро- и микроуровнях;

– прикладные исследования по изготовлению опытных образцов новых материалов, позволяющих копировать функции биологических объектов техническими системами; создание гибридных, андронидных, интеллектуальных материалов для «умных» конструкций нового поколения, в том числе бионического и нейронного типов, обеспечивающих получение синергетического эффекта при использовании функций самодиагностики, самоадаптации, самозалечивания и самовосстановления, а также отработка процессов получения материалов на основе компонентов, полученных с применением молекулярного дизайна и компьютерного моделирования;

– разработка технологий прогнозирования свойств, моделирования и реализации современных процессов конструирования и производства изделий из композиционных и функциональных материалов нового поколения с использованием цифровых методов, совместимых с CAD/CAM/CAE и PLM системами;

– проведение исследований и испытаний материалов для их общей квалификационной оценки и подготовки нормативной базы, обеспечивающей освоение их серийного производства.

Исследования в рамках предложенных стратегических направлений к 2020–2030 гг. должны обеспечить разработку:

– нового поколения термостойких, высокодеформативных с повышенной стойкостью к ударным нагрузкам, обладающих функциями самозалечивания, механохромными свойствами и модифицированных наночастицами связующих для полимерных и композиционных материалов конструкционного и функционального, в том числе специального, назначения;

– высокопрочных и высокомодульных конструкционных полимерных композиционных материалов (ПКМ) различных текстурных форм с высоким сопротивлением к статическим, повторно-статическим, динамическим нагрузкам;

– многофункциональных теплозащитных и теплоизоляционных материалов на органической и неорганической основах, включая материалы на основе возобновляемых источников растительного сырья;

– композиционных функциональных материалов на основе эластомеров, термо- и реактопластов, в том числе со специальными свойствами (включая многофункциональные клеящие системы, эластомерные и уплотнительные материалы, материалы и покрытия для защиты от ЭМИ, ударных, вибрационных, акустических и электрических воздействий, для снижения заметности в оптическом и радиодиапазонах, оптические материалы и материалы остекления, полимерные синтактные и пеноматериалы, лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе);

– конструкционных керамических и стеклокерамических КМ, характеризующихся высокими значениями прочности, твердости, вязкости разрушения, коррозионной и эрозионной стойкости, обладающих износостойкостью, химической инертностью в совокупности с длительным

жизненным циклом (незначительной рецессией) в условиях высокотемпературного окисления;

– высокотехнологичных естественных КМ на основе титановых сплавов с регламентированной структурой и слоистых МКМ с интерметаллидной фазой;

– высоконаполненных высокопрочных и сверхтеплопроводных МКМ на основе сплавов Al и Cu, армированных частицами и волокнами тугоплавких соединений для приборов силовой электроники нового поколения, а также МКМ на основе Nb, Mo и их интерметаллидов, обладающих повышенной стойкостью к окислению и коррозии;

– интеллектуальных ПКМ второго поколения на основе полимерных матриц и армирующих наполнителей различной природы с функцией беспроводного мониторинга напряженно-деформированного состояния и адаптации к аэродинамическим и другим нагрузкам, контроля с встроенными оптоволоконными, электрическими и пьезоэлектрическими сенсорами, а также ПКМ третьего поколения с изменяемой геометрией, адаптирующихся к внешним воздействиям путем введения актюаторных элементов, действие которых основано на различных физических принципах;

– технологий изготовления андронидных мультиинтегральных конструкций на основе анализа системы «нагрузка–структура» монослоев и моделирования поведения материалов на макро- и микроуровнях;

– методик, алгоритмов и программ конструирования и дизайна эффективных и токсикологически безопасных соединений мономеров, олигомеров и высокомолекулярных соединений с заданным комплексом свойств с оптимальными структурами, создание системы прогнозирования свойств синтезируемых соединений, основанной на многомерном анализе физико-химических дескрипторов с привлечением методов молекулярной механики, квантовой химии, молекулярной динамики, кластерного анализа и потенциальных функций;

– методов оценки комплекса свойств, в том числе с широким диапазоном измерений, результаты которых можно использовать на стадии конструирования;

– технологий атомно-молекулярного конструирования и самоорганизации на основе атомов и биоорганических молекул;

– технологий изготовления самовосстанавливающихся, самоадаптирующихся антропоморфных конструкций бионического и нейронного типов на основе нано-биотехнологий и андронидных мультиинтегральных конструкций;

– аморфных материалов и покрытий, в том числе наноструктурированных, включая метаматериалы, составы для защиты от электромагнитных излучений, ударных, вибрационных, тепловых, акустических и электрических воздействий, снижения заметности в оптическом и радиодиапазонах, многофункциональные клеящие, эластомерные, уплотнительные и лакокрасочные системы, материалы остекления;

– комплексных систем защиты, включая многослойные износ-, эрозивно- и коррозионностойкие, упрочняющие и теплозащитные покрытия, а также лакокрасочные, тканепленочные материалы и покрытия на полимерной и неметаллической основе.

Как уже отмечалось, реализация поставленных задач невозможна без соответствующих инфраструктурных решений, что потребует создания

специализированных центров компетенций – национальных лабораторий по полимерным композиционным материалам, металлическим и керамическим конструкционным композиционным материалам, сверхвысокотемпературной теплозащите – на базе Национального исследовательского центра «Материалы и технологии их производства», а также сети взаимосвязанных с ним исследовательских комплексов в ведущих научных организациях, центрах, институтах РАН, национальных исследовательских университетах и на промышленных предприятиях. Очевидно, потребуется также развитие и совершенствование системы междисциплинарной подготовки кадров в ведущих вузах по программам, согласованным с Национальным исследовательским центром как ведущей организацией в области материаловедения, определяющей долгосрочную политику в данном сегменте.

Приведенные стратегические направления развития материалов и технологий являются ключевой составляющей для создания перспективных изделий и формирования необходимого научно-технического задела. Данные стратегические направления соответствуют основным мировым тенденциям развития науки и техники и позволят реализовать задачи, обозначенные в стратегиях развития интегрированных структур и государственных корпораций (ГК «Ростехнологии», ГК «Росатом», ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация», ОАО «Вертолеты России», ФКА «Роскосмос», ОАО «Корпорация “Тактическое ракетное вооружение”», ОАО «Объединенная двигателестроительная корпорация», ОАО «РЖД» и др.).

И.Н. ГУЛЯЕВ, Г.М. ГУНЯЕВ, А.Е. РАСКУТИН

ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ФУНКЦИЯМИ АДАПТАЦИИ И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ

В настоящее время полимерные композиционные материалы (ПКМ) – стекло-, угле-, органопластики, благодаря своим уникальным свойствам, нашли применение в силовых конструкциях авиакосмической и других видах техники. Объем их применения достиг 50% от массы авиационного планера, обеспечивая ее снижение на 20–25%. ПКМ продолжают совершенствоваться с целью достижения более высоких упругопрочностных характеристик и эксплуатационной надежности.

Одним из таких направлений развития современного материаловедения является концепция создания интеллектуальных («умных») материалов или конструкций, обладающих комплексом функций, помогающих им (материалам) реагировать на окружающие условия и внешние воздействия. Эти материалы или конструкции способны адаптироваться (приспосабливаться) к изменяющимся внешним воздействиям. Разработка интеллектуальных материалов (ИМ) позволит расширить возможности и свойства ПКМ и появляющихся новейших технологий для создания материалов, обладающих контролируемыми, умственными и силовыми способностями. Материалы нового поколения с различной степенью сложности будут использоваться в разнообразных областях науки и техники: нанотехнологии, биоробототехника, нейронные сети, искусственный интеллект, молекулярная электроника и др. Интеллекту-