КОМПОЗИТЫ: СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

Евгений Каблов
Генеральный директор ФГУП ГНЦ ВИАМ, академик РАН

Начавшийся бум в применении композиционных материалов, очевидно, является ответом на повышение требований современной техники и высокотехнологичных отраслей. Практика показала, что путем подбора состава и свойств компонентов композиционных материалов (матрицы и наполнителя, их соотношения, ориентации наполнителя) можно обеспечить получение практически любых изделий с заранее заданным сочетанием эксплуатационных и технологических свойств.

Чем объяснить стремительно растущий интерес к композиционным материалам именно сегодня? Прежде всего тем, что традиционные материалы (главным образом, металлы) не всегда отвечают потребностям современной инженерной практики. Например, в особо жестких условиях эксплуатации незаменимость композитов обеспечивается сочетанием таких важнейших характеристик, как высокая механическая прочность, теплостойкость, коррозионная стойкость, малая плотность. Во-вторых, многообразие комбинаций различных исходных материалов и их компонентов, а также технологий их переработки в композитные материалы и изделия практически бесконечны и ограничены только уровнем развития науки и техники. При этом используются такие преимущества композитов, как возможность «бесстружечной» обработки (литье, прессование, экструзия) с получением изделий любой формы, что существенно снижает производственные затраты.

В мировой практике в зависимости от материала матрицы композиционные материалы подразделяются на полимерные, керамические, металлические, а также углерод-углеродные композиты. В настоящее время на международном и российском рынке наибольшее распространение получили полимерные композиционные материалы (ПКМ), которые, в свою очередь, делятся по типу используемого волокна: углепластики создаются на основе углеродных волокон, стеклопластики – стеклянных, органопластики – органических, базальтопластики – базальтовых волокон и т.п. ПКМ также делятся на непрерывноармированные (в качестве наполнителя выступают текстильные материалы на основе непрерывных волокон: нити, жгуты, ленты, ткани, объемноплетеные формы), дискретно армированные (упрочненные дискретными – рубленными или штапельными волокнами), наполненные (упрочненные различного рода дисперсными частицами). В современной технике наибольший интерес представляет класс непрерывноармированных ПКМ. Такие материалы, по праву относящиеся к классу конструкционных, способны обеспечить максимальную реализацию прочностных характеристик при создании уникальных изделий и конструкций нового поколения применительно к ответственным сооружениям и сложным техническим системам.

Рынок полимерных композитов

По экспертным оценкам, объем мирового рынка полимерных композитов за 2011 год составил около 13 млн т. Основными производителями композитов в мире (в объемном выражении) являются Китай (28%), США (22%) и Европейский союз (14%). Объем российского рынка составляет 0,5–1% от мирового, то есть практически находится в пределах статистической погрешности.

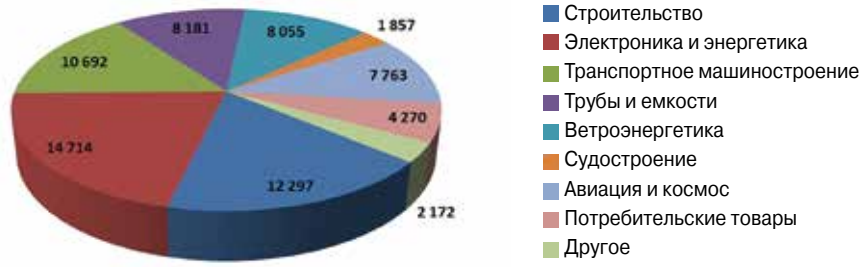
Статистика мирового потребления конструкций и изделий из ПКМ (в стоимостном выражении) показывает, что основный их объем сосредоточен в гражданских секторах экономики. Среди них следует выделить строительную индустрию, включая строительство объектов транспортной инфраструктуры (18% мирового объема потребления), энергетику и электронику (21%), транспортное машиностроение (15%), жилищно-коммунальное хозяйство (12%), ветроэнергетику (более 11%). Таким образом, основным драйвером роста выступает строительный сектор, на который с учетом транспортной и коммунальной инфраструктуры приходится 30% общего объема мирового потребления ПКМ и изделий из них.

Направления развития производства и потребления ПКМ в гражданских отраслях промышленности России в целом соответствуют мировым тенденциям. По оценкам, основными потребителями ПКМ в гражданском секторе к 2020 году будут транспортная инфраструктура, строительная индустрия, энергетика, силовая электроника и радиотехника (без инфраструктуры), транспортное машиностроение, включая автомобилестроение, цветная металлургия, химия и нефтехимия, жилищно-коммунальный комплекс, нефте- и газодобыча, гражданское авиа- и судостроение.

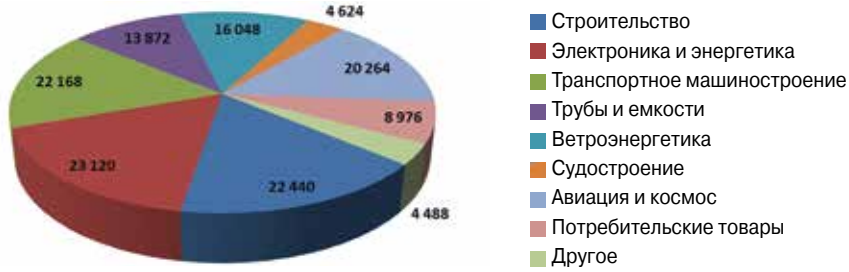
Роль ВИАМ в создании композитов

Первый отечественный композиционный материал был создан в 1939 году. Этот материал, получивший название

Структура и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них по секторам экономики в 2010 году



Структура и объем мирового потребления ПКМ и изделий из них по секторам экономики в 2020 году (по экспертным оценкам)



«дельта-древесина», был разработан учеными ВИАМа под руководством профессора Я.Д. Аврасина на основе шпона карельской березы и бакелитового лака. В годы Великой Отечественной войны в условиях дефицита алюминиевых сплавов дельта-древесина стала основным конструкционным материалом планеров самолетов и воздушных винтов. Инициатором дальнейшего развития ПКМ, прежде всего для отраслей ВПК, также стал ВИАМ. В конце 60-х годов после соответствующей инициативы начальника ВИАМа, член-корреспондента АН СССР А.Т. Туманова были приняты государственные решения и выделены основные направления первоочередных НИОКР: двигателестроение, транспортная авиация, ракетная техника, фронтовая авиация, вертолетостроение. Были созданы производства армирующих волокнистых наполнителей, полимерных связующих и специальных химических добавок, технологическое оборудование и т.д. В профильных учреждениях высшего и профессионального образования была организована целевая подготовка специалистов. ВИАМ был определен головной научной организацией, на которую возлагалась разработка основных компонентов и разработка требований к специальным химическим соединениям и армирующим наполнителям, а также координация работ предприятий различных отраслей по данному направлению. Кроме того, в задачу ВИАМа входило проведение квалификации композиционных материалов, согласование нормативной документации на исходные компоненты, а также технологической документации и материальной спецификации на изготовление изделий. Начальник ВИАМа А.Т. Туманов был назначен руководителем секции «Композиционные материалы» Научного совета АН СССР по конструкционным материалам для новой техники, который возглавил первый заместитель начальника ВИАМа академик С.Т. Кишкин. В общей сложности для нужд предприятий авиационной и ракетно-космической промышленности в ВИАМе было разработано более 300 марок ПКМ, и на базе этих разработок предприятия отрасли освоили в общей сложности производство около 700 марок полимерных материалов.

Следует отметить, что до начала 90-х годов на мировом рынке наша страна наряду с США и Японией входила в число лидеров по объему производства и применения ПКМ. При этом СССР и США развивали отрасль ПКМ главным образом применительно к изделиям оборонно-промышленного комплекса, в то время как основные области применения ПКМ в Японии сосредоточились в гражданском сегменте.

С 1992 года развитие отрасли ПКМ в России фактически было прекращено. Новое руководство страны вернуло это направление в число приоритетных, поставив задачу создать новое поколение полимерных композиционных материалов и расширить объемы их производства и применения в различных секторах экономики. В мае 2002 года мне, как генеральному директору ФГУП «ВИАМ», была предоставлена возможность изложить состояние дел и внести предложения на докладе у главы государства. По инициативе Президента РФ В.В. Путина была разработана и утверждена программа по созданию авиационно-космических материалов и организации их малотоннажного производства. Впервые был реализован поддержанный Президентом РФ принцип малотоннажного производства дефицитных и импортозамещающих материалов на базе ведущих НИИ. Реализация данной программы позволила создать 55 производственных участков для выпуска 273 материалов и их компонентов.

В 2009 году в связи с критическим увеличением объема дефицитных и импортируемых материалов для производства ВВСТ была разработана и утверждена 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 области ПКМ реализация данной программы позволила к 2015 году создать 27 новых производственных объектов, восстановить и разработать 272 технологии производства материалов и обеспечить импортозамещение 361 материала. При этом создано новое поколение арамидных волокон с пониженным влагопоглощением и повышенными механическими характеристиками, разработан комплекс высокодеформативных связующих, не уступающих, а по отдельным характеристикам превосходящих зарубежные аналоги, восстановлено производство ряда других стратегически важных материалов и компонентов. На базе ВИАМ создан центр компетенций по разработке, квалификации и производству полуфабрикатов ПКМ, в ОНПП «Технология» (ОАО «РТ-Химкомпозит» ГК «Ростехнологии»), начал работать центр компетенций по производству крупногабаритных конструкций из ПКМ авиационного и космического назначения и т.п.

Традиционно в нашей стране инновации в области ПКМ создавались и создаются преимущественно в государственном секторе науки, в основном для оборонно-промышленного комплекса и сложных технических систем в авиационной, ракетно-космической, атомной промышленности и судостроения. Основной объем научно-исследовательских работ, направленных на разработку новых полимерных связующих, ПКМ, технологий их производства и переработки в конструкции, выполняют отраслевые материаловедческие научные центры и научные организации с государственным участием, такие как ФГУП «ВИАМ», ФГУП «ЦНИИ КМ «Прометей», ФГУП «ГНИИХТЭОС», ОАО «Композит», ОАО «НИИПМ» и др., а львиная доля (около 80%) опытно-конструкторских работ, связанных с разработкой изделий на основе ПКМ, выполняется отраслевыми КБ, входящими в интегрированные структуры с государственным участием (ОАК, ОДК, «Вертолеты России» и др.).

Гражданские сферы применения ПКМ

В современной России расширяется применение ПКМ в гражданских секторах экономики: строительной индустрии, инфраструктуре, транспортном, сельскохозяйственном и общем машиностроении, химической и нефтехимической промышленности, энергетическом комплексе. Это способствовало появлению во второй половине 90-х – начале 2000-х годов коммерческого сегмента исследований и разработок, выполняемых как за счет средств бизнес-сообщества (70%), так и с привлечением разных форм бюджетного софинансирования. На текущий момент, по экспертным оценкам, объем производства ПКМ и изделий из них в РФ составляет не

более 20–25 тыс. т и не более 12–16 млрд руб. в стоимостном выражении.

К наиболее перспективным рынками ПКМ в нашей стране сегодня можно отнести строительную отрасль, нефтегазовую промышленность, железнодорожный и автомобильный транспорт, судостроение. На долю этих отраслей в мире приходится около 60% объема производимых полимерных композиционных материалов, чему способствует, в частности, ужесточение экологических норм и задачи снижения энергопотребления. Кроме того, в этих отраслях реализуются главные преимущества ПКМ, такие как высокая устойчивость к воздействию агрессивных сред и неблагоприятных условий эксплуатации, а также сравнительно низкая плотность самих материалов.

Использование композитов становится важным фактором конкурентоспособности выпускаемой продукции. В условиях возрастающей конкуренции формируются компании, специализирующиеся на производстве сырья и компонентов для композитных материалов, инвестирующие крупные средства в исследование и развитие новых материалов, таких как термопластические смолы, угольные и стекловолокна нового поколения, композиты на основе растительных материалов. По-видимому, в обозримой перспективе можно ожидать развития подобных тенденций и в обрабатывающей индустрии.

Разработка сравнительно дешевых технологий в ближайшем будущем приведет к тому, что различные композиционные материалы, и в первую очередь углепластики, получат широкое применение в автомобилестроении. Они могут обеспечить серьезное снижение массы автомобиля, а значит, существенную экономию горючего и, соответственно, снижение вредных выхлопов. По расчетам, снижение массы автомобиля на 7 кг может обеспечить повышение его экономичности на 0,0042 км/л. Замена деталей из черных металлов на детали из углепластиков, стеклопластиков и других конструкционных полимерных материалов позволит снизить массу автомобиля в среднем на 320 кг. Так, в Германии фирма BMW уже начала серийно выпускать модели с использованием ПКМ на основе углеродного волокна, производимого немецкой компанией SGL Group.

Полимерные композиционные материалы позволяют создавать безнаборные или редко подкрепленные набором корпусные конструкции современных, в том числе высокоскоростных, судов. Важно, что создание крупногабаритных элементов из ПКМ не требует применения сварки, а это снижает стоимость работ не менее чем на 10% и повышает надежность эксплуатации судов. Без использования композиционных материалов практически невозможно создание суперглубоководных средств. Высокая демпфирующая способность ПКМ в сочетании с высокими физико-механическими характеристиками обеспечивает уменьшение перегрузок сложных технических систем. Малая плотность материалов при обеспечении пожаробезопасности позволяет применять их в архитектуре надводной части судов всех типов, что способствует улучшению устойчивости, уменьшению радиолокационной заметности судов, облегчению эксплуатации корпуса.

Структура российского потребления ПКМ и изделий из них по секторам экономики в 2010 году (по статистическим данным и экспертным оценкам)

Высокая устойчивость ПКМ к коррозионным воздействиям, ровная и плотная поверхность изделий, получаемая при формовании, позволяют в ряде случаев отказаться от окрашивания, что играет немаловажную роль в строительной индустрии. Уже сегодня за рубежом из общего объема производства ПКМ (около 8 млн т/год на сумму около 59 млрд евро) почти треть идет для использования в строительстве. В среднем объемная масса ПКМ в 2 раза меньше, чем у алюминия, и в 5–8 раз меньше, чем у стали, меди, свинца. Пределы прочности при сжатии и растяжении ПКМ достаточно высоки и превосходят в этом отношении многие строительные материалы силикатной группы (кирпич, бетон). В целом комплекс свойств строительных материалов можно описать коэффициентом конструктивного качества, который для кирпичной кладки составляет 0,02 (самый низкий из всех строительных материалов), у цементного бетона марки 150 – 0,06, стали марки Ст.3 – 0,5, сосны – 0,7, дюралюминия – 1,6, композиционных конструкций – 2,2. Внедрение в строительство материалов с высоким коэффициентом конструктивного качества предопределяет решение одной из основных задач – снижение веса зданий и сооружений, увеличение сроков их эксплуатации и межремонтного обслуживания.

Применение ПКМ в строительстве мостов значительно сокращает массу сооружения по сравнению с железобетонными конструкциями, что позволяет возводить их быстро, практически не нарушая движение транспорта. Кроме того, при сравнительно более высокой стоимости исходных материалов (в настоящее время) по затратам на весь период эксплуатации мост из ПКМ значительно более выгоден, чем железобетонный, поскольку не требует капитального ремонта и обеспечивает безопасную эксплуатацию до 50 лет, так как ПКМ практически не подвержен коррозии. Как показал зарубежный опыт, использование полимерных композиционных материалов в мостовых сооружениях обеспечивает получение качественно новых долговечных конструкций.

По экспертным оценкам, при замене, например, чугунных ограждений на конструкции из ПКМ стоимость монтажных работ сокращается с 13200 до 2500 руб. за погонный метр, транспортировочные расходы – с 880 до 50 руб./п.м, расходы при эксплуатации – с 8200 до 1300 руб./п.м. По сравнению с аналогичными металлическими трубами трубы из композиционного материала имеют также ряд преимуществ: срок службы без капитального ремонта в 2–2,5 раза больше, чем у стальных труб. Малый удельный вес композиционного материала и высокая заводская готовность конструкций позволяют существенно упростить монтаж и сократить его длительность в несколько раз. Весьма перспективно использование композитов в строительстве вантовых мостов, армировании сооружений в сейсмоопасных регионах, усилении высотных сооружений и сложных инженерных конструкций.

Перспективы применения композитов в России

Министерство промышленности и торговли РФ на конкурсной основе выделяет субсидии на поддержку развития производства композиционных материалов и изделий из них в рамках реализации программы «Разработка технологий получения комплекса композиционных материалов (композитов) нового поколения, изделий

Структура российского потребления ПКМ и изделий из них по секторам экономики в 2020 году (по экспертным оценкам)

и конструкций из них» и подпрограммы «Развитие производства композиционных материалов (композитов) и изделий из них». Главная цель – стимулирование развития отрасли конструкционных и композиционных материалов нового поколения. В ходе реализации подпрограммы будет создана современная нормативно-правовая и нормативная техническая база, регламентирующая разработку, производство и широкое внедрение композиционных материалов и изделий из них в ключевых секторах экономики. Будут разработаны и реализованы пилотные масштабируемые инновационные проекты на основе первоочередных отраслевых проблемно-ориентированных НИОКР, а также сформирована национальная база интеллектуальной собственности в области производства современных композиционных материалов и изделий из них гражданского назначения.

Основной ожидаемый результат заключается в росте объема внутреннего производства продукции композитной отрасли, который к 2020 году составит 120 млрд руб., а объем потребления продукции отрасли на душу населения к 2020 году составит не менее 1,5 кг. Количество разработанных технологий мирового уровня, прошедших опытную отработку и готовых к коммерциализации или переданных в производство, к 2016 году составит не менее 65 единиц, а количество полученных патентов, ноу-хау и других правоохранных документов, удостоверяющих новизну технологических решений, – не менее 58 единиц.

В рамках данной подпрограммы ФГУП «ВИАМ» реализует два пилотных масштабируемых инновационных проекта. Первый проект: «Разработка технологий получения композиционных материалов нового поколения и конструктивных решений для применения при строительстве быстровозводимых мостовых сооружений с использованием в качестве надземных частей опор арочных элементов и профилированного настила, а также освоение производства высокотехнологичной продукции на основе полученных технологических решений». Соисполнителем в данном проекте является ОАО «НИИ Графит». Быстровозводимые мостовые сооружения с использованием в качестве надземных частей опор арочных элементов и профилированного настила из композиционных материалов нового поколения обладают рядом существенных преимуществ. Они устойчивы к коррозии и воздействию высоких и низких температур, в 20 раз легче бетонных и в 5 раз легче стальных конструкций, что позволяет сократить расходы на строительство и эксплуатацию. Изготовление арочного моста на строительной площадке занимает всего два-три месяца и, следовательно, это позволяет резко сократить экономические потери и уменьшить загрязнение окружающей среды. Помимо этого возведение арочных мостов с применением элементов конструкции из ПКМ возможно в труднодоступных районах (горная местность и местность с вечной мерзлотой).

В целом по двум сегментам (автомобильные и железные дороги) емкость рынка мостовых сооружений оценивается на уровне 80 тыс. штук. При условии, что средний срок эксплуатации мостов составляет 20–25 лет, каждый год необходимо заменять или проводить капитальный ремонт не менее 3000 мостов. Однако на сегодня фактическое количество мостов, требующих замены, в 2–3 раза больше в связи с тем, что последние 10–15 лет обновление транспортной инфраструктуры в стране проводилось крайне медленно.

Пилотный объект по данному проекту будет построен в 2016 году в Ульяновской области.

Второй инновационный проект – «Разработка технологий получения композиционных материалов нового поколения и конструктивных решений для создания опорных плит и электроизолирующих стяжек соединительных элементов из композиционных материалов для силовых сборок блоков коммутаторов на основе импульсных фототиристоров, предназначенных для создания сверхмощных электромагнитных полей в схемах импульсной энергетики, а также освоение производства высокотехнологичной продукции на основе технологических решений». Соисполнителями по данному проекту являются ООО «Центр нанотехнологий и наноматериалов» и ООО «Новые композитные материалы» (г. Саранск). Применение опорных плит и электроизолирующих стяжек соединительных элементов из композиционных материалов приводит к снижению совокупной стоимости владения, увеличению срока службы оснований сборок за счет уменьшения сроков ремонта, а также снижению веса конструкций на 80 %.

Заключение

Композиционные материалы являются одним из наиболее востребованных материальных ресурсов современного промышленного производства. Особенно широко и эффективно они используются в высокотехнологичных отраслях. В настоящее время нет ни одного летательного аппарата, в конструкции которого не были бы использованы композиты. В некоторых конструкциях планера современных летательных аппаратов объем использования ПКМ достигает 60%. Подсчитано, что, например, благодаря композитным составляющим вес Ту-204 удалось снизить на 1200 кг по сравнению с аналогичной металлической конструкцией. А поскольку каждый сэкономленный килограмм веса воздушного судна снижает потребление топлива на 2–3 кг в год, то при цене авиационного керосина 30–40 руб./кг ежегодная экономия доходит до 144 тыс. руб.

В России общепризнанным лидером в разработке состава и технологии производства композитов является Всероссийский институт авиационных материалов. Новые поколения композитов, разработанных ВИАМом, находят свое применение в создании новых образцов авиационной и ракетной техники и не уступают, а по ряду показателей превосходят зарубежные аналоги.

Полимерные композиционные материалы обеспечивают в силовых конструкциях высокую эксплуатационную надежность и долговечность, что помимо традиционных отраслей применения (авиация, космонавтика, судостроение) весьма актуально в строительной индустрии, энергетике, машиностроении, конструкциях дорожной инфраструктуры (в частности, мостовые сооружения) и других отраслях.

При подготовке статьи были использованы материалы и результаты исследований сотрудников ФГУП ГНЦ ВИАМ Дениса Гращенкова, Александра Раскутина, Дмитрия Когана, Ларисы Чурсовой.