



Задача снижения массы транспортных средств, особенно важная для электромобилей, наиболее эффективно решается за счет замены их металлических элементов на композитные. Примером служит несущая часть бампера, изготовленная из углепластика взамен металлического аналога

Новые решения и задачи в области композитных технологий для автомобилестроения

Задача снижения массы изделий при сохранении их заданных упруго-прочностных характеристик всегда была одной из самых главных в авиакосмической промышленности. Известен так называемый каскадный эффект, когда совсем небольшая экономия массы летательного аппарата позволяет повысить потолок полета, уменьшить лобовое сопротивление, увеличить скорость и дальность полета или сэкономить горючее при той же дальности. Наиболее эффективным решением этой задачи является замена металла на полимерный композит на основе непрерывных стеклянных, углеродных или арамидных волокон, обладающий более высокими удельными характеристиками, чем металл.

Как известно, основными технологическими операциями типовых процессов изготовления изделий из волокнистых полимерных композитов на основе термореактивных связующих являются приготовление препрегов, сборка пакетов-заготовок (выкладкой или намоткой) и формование (контактное, вакуумное, автоклавное, термокомпрессионное и др.). Возможен и другой порядок первых операций, когда стадия пропитки под давлением (метод RTM) или под высоким давлением (HP-RTM) следует вслед за сборкой сухого пакета-заготовки. И хотя многие эти операции автоматизированы и обеспечены соответствующим аппаратным оформлением, все же сохраняется значительная доля ручного труда. Кроме того, подобные технологические процессы отличаются достаточно большой трудоемкостью, связанной в первую

очередь с измеряемой часами длительностью отверждения традиционных термореактивных связующих.

1. Возможности повышения производительности композитных технологий

Указанные выше проблемы – значительная доля ручного труда и большая трудоемкость композитных технологий – не были столь острыми в случае мелко- или среднесерийного производства, характерного для авиакосмической промышленности. Другое дело – автомобилестроение, которое отличается крупносерийностью производства и для которого все более актуальной становится та же самая задача снижения массы изделий, обостренная требованиями защиты окружающей среды. В связи с этим некоторые ведущие компании, занятые в области литейного машиностроения, стали разрабатывать

специальные технологии, направленные на решение указанных проблем на основе своего многолетнего опыта, накопленного в решении задач литья под давлением термопластов – метода формования, отличающегося высокой степенью автоматизации и коротким циклом, измеряемым секундами или десятками секунд. Кардинальному повышению производительности процессов способствует создание уретановых, эпоксидных и эфирных связующих с повышенной реакционной способностью, порой настолько высокой, что на стадии приготовления связующего и пропитки сухого пакета-заготовки требуется снижение скорости его отверждения и увеличения тем самым его жизнеспособности. Осуществляется это, как правило, варьированием состава связующих, температурой процесса (или) использованием отвердителей латентного действия. Немаловажное



Фото 1. Производственная площадка технологического центра легких композитов на заводе больших литейных машин в г. Санкт-Валентине и его первый директор – д-р Петер Эггер (все фото: ENGEL)

значение для успешного решения поставленных задач имеет и внедрение в организацию производства принципов и инструментов 4-й промышленной революции Industry 4.0, в чем наиболее продвинутыми в промышленности полимерных материалов выглядят именно компании, занятые в литейном машиностроении.

Примером компании, своевременно уловившей эти «композитные» тенденции, служит ENGEL Austria GmbH, создавшая еще в 2012 г. на заводе больших литейных машин ENGEL в г. Санкт-Валентине (Австрия) технологический центр легких композитов (фото 1). «Композитные литейные технологии – это ключевые технологии, позволяющие удовлетворить растущий спрос со стороны производителей транспортных средств и мобильных решений, – подчеркивал тогда директор технологического центра д-р Петер Эггер (Peter Egger) (см. фото 1). – Направление развития уже задано самолетостроением, однако отлаженный процесс, использующийся в этой отрасли для выпуска изделий из полимерных композитов, нельзя просто перенести на производство автомобилей, так как потребности этого сектора намного выше». И, говоря о задачах центра, он продолжал: «Целью проекта является разработка новых процессов (зачастую совместно с материалами), которые обеспечивают требуемый в автомобилестроении уровень производительности и экономичности. Чтобы достигнуть успеха, необходимо грамотное согласование свойств ма-

териала, конструкции изделия и технологического процесса. Следовательно, компаниям, участвующим в цепочке создания продукции, очень важно взаимодействовать и вести обмен опытом и специальными знаниями. Достичь успеха в реализации проектов, связанных с композитами, можно только за счет профессионализма сразу в нескольких областях. Для композитных технологий и процесс разработки должен быть «композитным», то есть протекать в тесном взаимодействии с партнерами». Компания ENGEL уже много лет является участником партнерских взаимоотношений с компаниями, университетами, в частности с Университетом имени Иоганна Кеплера в г. Линце (Австрия), и другими исследовательскими организациями, занимающимися технологиями создания изделий из полимерных композитов.

2. Автоматизированные технологии для серийного производства изделий из полимерных композитов

Правильность решения по созданию технологического центра подтверждается не только увеличивающимся количеством запросов, но и ходом реализации проектов. Ниже – несколько примеров решенных задач в области композитных технологий.

2.1. Переработка органолистов

Данная технология подразумевает использование в качестве полуфабриката изделия так называемый органолист, который представляет со-

бой листовую заготовку на основе термopластичной матрицы и непрерывных армирующих волокон. Получают этот органолист, как правило, прессованием пакета, состоящего из чередующихся слоев термopластичной пленки и армирующей ткани или ленты.

Примером изделия сложной формы, изготавливаемого с использованием органолистов, служит композитная педаль тормоза, производимая в производственной ячейке в составе литейной машины ENGEL insert 1050H/200, многоосевого робота ENGEL easix и камеры для предварительного ИК-нагрева органолиста (фото 2). Готовые изделия, не требующие последующей механической обработки, по сравнению со стальным прототипом из стали имеют на 30 % меньшую массу при той же прочности.

Другими примерами изделий, производимых с использованием данной технологии и предназначенных не только для автомобилестроения, являются корпуса мобильной электроники – ноутбуков, смартфонов или электронных книг. Так, в частности, элемент корпуса ноутбука из углепластика с толщиной стенки всего 0,6 мм изготавливается в производственной ячейке на базе литейной машины ENGEL e-mac 170/100, оснащенной линейным роботом ENGEL vipet 12 (фото 3). Предварительно отформованные по вариотермической технологии органолисты углепластика размещались в форме, после чего на них, как на подложку, осуществлялся впрыск расплава смеси ПК/АБС с применением опять же



Фото 2. Композитная педаль тормоза, изготовленная в производственной ячейке на основе литьевой машины ENGEL insert 1050H/200

вариотермического термостатирования формы. Этот метод позволяет обеспечить минимальную толщину стенок и – несмотря на различную усадку компонентов – очень гладкие поверхности. Затем на эту деталь, которая должна иметь исполнение «под черный рояльный лак», в рамках одного цикла наносилось металлическое покрытие методом конденсации из газовой фазы (PVD) для электромагнитного экранирования компонентов ноутбука.

Первые результаты производства изделий из органолистов достигли уровня готовности к серийному использованию. В центре внимания дальнейшего развития находятся технические решения для термопластичных однонаправленных лент на основе стеклянных или углеродных волокон. Необходимый для этого практический опыт компания ENGEL накапливает при разработке собственного литьевого оборудования и средств автоматизации. В частности, некоторые ее роботы имеют углепластиковые руки, существенно более легкие по



Фото 3. Элемент корпуса ноутбука из углепластика с толщиной стенки всего 0,6 мм, изготовленный с применением технологии органолистов



сравнению с металлическими аналогами. В целом процесс изготовления такой руки робота наряду со сборкой многослойного пакета-заготовки включает в себя операции последующего нагрева, монолитизации и формования пакета-заготовки, а также последующей обрезки и соединения частей изделия друг с другом и с металлическими элементами (фото 4).

В состав производственной ячейки входит также уникальный модуль сборки пакета-заготовки из термопластичных однонаправленных препрегов, работающий по принципу манипулятора типа «взять и положить» (pick-and-place). Основная часть слоев однонаправленных препрегов ориентируется вдоль оси вращения для обеспечения ее достаточной жесткости. В дополнение к этому некоторые препреги ориентированы под углами $\pm 45^\circ$ и 90° к продольной оси изделия. Поэ-

тому «положить» все эти слои манипулятор должен с прецизионной точностью, поскольку минимальные отклонения от заданного угла армирования (особенно в случае углеродных волокон) могут привести к существенной потере упруго-прочностных свойств в нужном направлении (фото 5).

2.2. Технология in-situ (полимеризация в форме)

Альтернативой описанной выше технологии производства изделий из термопластичных композитов является технология полимеризации в форме (in-situ), имеющая свои преимущества и недостатки. Так, например, общим недостатком всех термопластичных связующих по сравнению с терморезистивными является высокая вязкость расплава, затрудняющая их совмещение с волокнистым наполните-

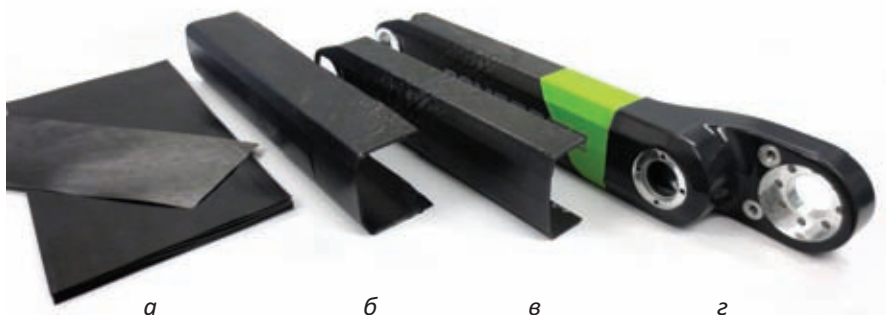


Фото 4. Процесс изготовления руки робота ENGEL e-pic из однонаправленных препрегов состоит из следующих основных технологических операций: а – раскрой однонаправленных препрегов на отдельные слои заданных размеров и сборка из них многослойного пакета-заготовки; б – нагрев пакета-заготовки, его формование и фиксация формы при охлаждении; в – механическая обработка (обрезка кромок, формование отверстия); г – сборка частей изделия между собой и с алюминиевым элементом путем склеивания

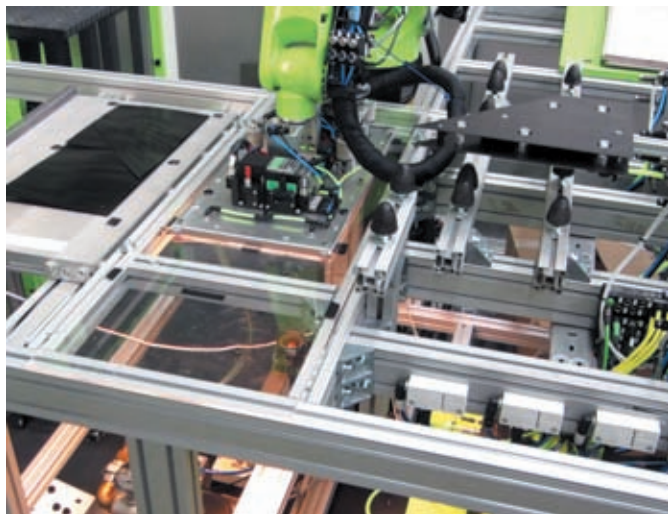


Фото 5.
Интегрированная в производственную ячейку видеооптическая система, предназначенная для определения фактического положения слоя однонаправленного препрега на выкладочной головке

лем. Поэтому в случае технологии с органолистами требуется дополнительная предварительная операция их изготовления. При использовании же технологии in-situ речь идет о пропитке сухого волокнистого пакета-заготовки низковязким мономером с последующей его полимеризацией непосредственно в форме. Другое дело, что реализовать такую технологию можно пока

что для ограниченного числа мономеров, одним из которых является ϵ -капролактам.

Примером крупногабаритных изделий, изготовленных по этой технологии, служат лопаты из полиамидного стеклопластика, которые производились на выставке K-2016 на предсерийной производственной ячейке на базе литьевой машины ENGEL v-duo 1560/700 (фото 6).

2.3. Технология HP-RTM

Примером изделия, изготавливаемого по технологии пропитки под высоким давлением (HP-RTM), является панель с несущим слоем из углепластика, предназначенная для спортивного автомобиля X-Bow (фото 7). Производство этого легкого конструкционного изделия осуществлялось в производственной ячейке на базе вертикальной машины v-duo 700.

Другим примером применения технологии HP-RTM служат крупногабаритные автомобильные композитные детали, для изготовления которых на заводе компании BMW в г. Ландсхуте (Германия) была поставлена большая вертикальная литьевая машина ENGEL v-duo 3600 с усилием смыкания 36 000 кН (фото 8). Она оснащена двумя горизонтальными подвижными столами для подачи волокнистой заготовки и съема готовых деталей. Такая конструкторско-технологическая схема позволяет сократить время цикла и потребление электроэнергии за счет того, что в каждом



Фото 6. Производственная ячейка на базе литьевой машины ENGEL v-duo 1560/700, на которой изготовлены лопаты из полиамидного стеклопластика с применением полимеризации ϵ -капролактама в форме

цикле форма открывается лишь на непродолжительное время.

В отличие от обычных гидравлических прессов того же назначения вертикальная машина обладает более компактной конструкцией (в два раза меньше по высоте), значительно легче и доступна к узлу смыкания со всех четырех сторон.

Следует добавить, что в технологическом центре имеется производственная ячейка, специально предназначенная для отработки технологии HP-RTM производства полимерных композитов (фото 9).

3. Создание новой структуры для решения новых задач

Не стоит думать, однако, что история развития композитных технологий в компании ENGEL началась с момента создания технологического центра. Это событие подвело как бы логический итог предварительных работ композитного направления, результаты которых были представлены, в частности, на автомобильной конференции trend.scaut в г. Линце (Австрия)



Фото 7. Панель с несущим слоем из углепластика для спортивного автомобиля X-Vow, изготовленная по технологии HP-RTM



Фото 8. Завод больших литьевых машин ENGEL в г. Санкт-Валентине (Австрия): процесс сборки литьевой машины ENGEL v-duo 3600, предназначенной для поставки компании BMW



Фото 9. Производственная ячейка в технологическом центре, специально предназначенная для отработки технологии HP-RTM производства изделий из полимерных композитов

еще в 2012 г. – в год создания центра (см. фото у заголовка статьи). Тогда г-н Эггер заявил: «Сейчас еще нельзя с уверенностью сказать, какая именно технология станет наиболее распространенной для производства тех или иных деталей, однако мы уверены, что у всех этих технологий огромный потенциал». Но прошло 5 лет напряженной работы, и накопленный за эти годы опыт и потребность в ускоренном внедрении полученных результатов в практику вызвали необходимость создания нового подразделения – ENGEL Composite Systems, которое – в дополнение к существующему технологическому центру – будет сопровождать клиентов компании на пути организации и запуска на собственном предприятии серийного производства изделий из полимерных композитов. А технологический центр с этого момента сосредоточится еще больше на междисциплинарной разработке новых, особенно экономичных технологических решений.

«Мы многого достигли вместе с нашими партнерами за прошедшие пять лет, – подчеркнул по поводу создания нового подразделения генеральный директор ENGEL д-р Штефан Энгледер (Stefan Engleder). – Некоторые наши технологии уже пере-

росли стадию развития и успешно реализуются на предприятиях наших заказчиков. Новая структура призвана закрепить эту тенденцию». «Более оперативное и полное удовлетворение растущих запросов на интегрированные решения в области тонкостенных легких конструкций из полимерных композитов требует разделения между проектно-конструкторскими работами и конкретным внедрением их результатов на предприятиях заказчиков», – дополнил коммерческий директор, д-р Кристоф Штегер (Christoph Steger).

Руководителем нового подразделения назначен *Маттиас Майр* (Matthias Maier), новым директором технологического центра – д-р *Норберт Мюллер* (Norbert Müller); оба – опытные работники ENGEL. А д-р Эггер, теперь уже в качестве директора направления передовых технологий (Advanced Technologies), отвечает за развитие и маркетинг в области специальных технологий ENGEL, таких как, например, clearmelt, foammelt или optimelt.

Подготовил к. т. н. **В. Н. Мырнин** с использованием пресс-материалов компании ENGEL

New Solutions and Tasks in the Composite Technologies for Automotive Industry

With a new structure, ENGEL continues to strengthen its lightweight construction competence and is getting ready for the increasing use of innovative composite technologies in practice. ENGEL Composite Systems is the newly established sub-division which will support ENGEL customers in the project planning and series launch of production systems for the manufacturing of fibre-plastic composite components. From now on, the Centre for Lightweight Composite Technologies will focus even more on the interdisciplinary development of new, especially economical processing procedures, and will receive even more comprehensive resources to this end. ■