

Композиционные материалы на железнодорожном транспорте

Широкомасштабному внедрению композиционных материалов на железнодорожном транспорте посвящены специальные целевые программы. Исторически сложилось так, что большую часть исследований и разработок по этому вопросу ведут железные дороги Европы и Японии, причем в основном применительно к пассажирскому подвижному составу. Расширение применения этих легких и высокопрочных материалов целесообразно и преимущественно грузовых железных дорогах Северной Америки, и в настоящее время, как полагают, здесь создалась благоприятная ситуация в отношении грузового подвижного состава и элементов верхнего строения пути, поскольку препятствий для применения неметаллических деталей и узлов постепенно становится все меньше.

Европейский опыт

В Европе работы по выбору и оценке композиционных материалов ведутся в рамках рассчитанной на 3 года программы HYCOTRANS, в которой участвуют шесть стран - членов Европейского союза: Великобритания, Германия, Испания, Португалия, Греция и Италия. Целью программы является отработка технологий создания надежных и обеспечивающих безопасность гибридных композитных конструкций для транспортных средств.

По мнению специалистов, занятых в программе, она отражает потребность железнодорожной отрасли в легких и в то же время эффективно поглощающих энергию соударения перспективных материалах, которые могли бы заменить металл и найти применение на грузовом и пассажирском подвижном составе, имея лучшие характеристики, чем современные композиты, и удовлетворяя следующим требованиям:

разрушение конструкции должно происходить предсказуемым образом в режиме пластической деформации с поглощением большого количества энергии при заранее определенном значении приложенного усилия;

величина этого усилия должна зависеть от места нахождения конструкции;

желательно использовать в конструкциях относительно недорогие композиционные материалы.

В соответствии с программой HYCOTRANS предполагается:

создать поглощающие энергию конструкции с использованием широкого спектра композиционных материалов;

разработать типовую методику определения свойств конструкций без применения дорогостоящих полномасштабных испытаний;

разработать обеспечивающую возможность прогнозирования методику проектирования энергопоглощающих конструкций из новых композиционных материалов.

Ожидают, что в ходе выполнения программы удастся получить в качестве конечного результата, с одной стороны, прототип композитной конструкции, защищающей от разрушения, и, с другой стороны, процедуру испытаний на уменьшенной модели, позволяющую определить свойства полномасштабной конструкции.

В состав участников программы HYCOTRANS входят также две компании, которые, как полагают, воплотят результаты исследований в своей продукции: итальянская Costamasnaga по производству подвижного состава и испанская Irizar по производству автобусов. Они станут первыми демонстраторами и пользователями технологий,

полученных в случае успешного завершения проекта.

В качестве конечного результата планируют изготовить полномасштабный вагон с установленным на обычные тележки композитным кузовом, который будет подвергнут ударным испытаниям на опытном пути.

Координатором работ назначен Центр перспективных железнодорожных исследований (ARRC) в Шеффилде, Великобритания. Специалистам ARRC известны существовавшие предубеждения, согласно которым легкие материалы дают слабую защиту. Из-за этого большинство специалистов железных дорог Европы традиционно не рассматривали возможность применения других материалов, кроме металлов, и отстали от быстро развивающихся технологий, связанных с композиционными материалами. В качестве противоположного примера приводят решимость железных дорог Республики Корея, где была проявлена соответствующая инициатива и, как ожидают, в близком будущем должен появиться высокоскоростной поезд из вагонов с кузовами из композиционных материалов. Железнодорожная промышленность Японии в качестве способа уменьшения массы конструкций подвижного состава рассматривает применение композитов на основе пластика, армированного стекловолокном.

По мнению специалистов ARRC, основные преимущества композиционных материалов по сравнению со сталью и алюминием, например при изготовлении кузовов вагонов из многослойных панелей, лежат в сфере экономики и безопасности. На железных дорогах все большую значимость придают уменьшению массы, сокращению расходов в расчете на весь срок службы, повышению сопротивляемости разрушению при столкновении. Для изготовления конструкций из металла требуются дорогостоящее сырье и трудоемкие операции, такие как сварка и зачистка. Композиционные материалы позволяют устранить эти неудобства. Кроме того, отсутствие коррозии увеличивает срок службы композитных конструкций. Пластичность композиционных материалов позволяет получать изделия сложной формы, соответствующей аэродинамическим расчетам, со значительно более низкими затратами. Еще важнее то, что за счет применения композиционных материалов можно облегчить подвижной состав почти на 50 %. Это приводит к снижению потребления энергии в эксплуатации - фактор, в свете проводимой политики защиты окружающей среды имеющий особое значение. С точки зрения безопасности в последнее время большое внимание уделяют созданию систем контролируемого поглощения энергии соударения при столкновениях. Одной из целей программы HYCOTRANS является демонстрация возможности применения в таких конструкциях обычного стекловолокна, а не дорогостоящего и потому неприемлемого в обычных условиях параамида.

В том что касается технологии изготовления многослойных панельных конструкций из композиционных материалов, предпочтение отдают жидкому прессованию, например литьевому или реактивно-литьевому.

Американский опыт Подвижной состав

Для железных дорог США из композиционных материалов в основном изготавливают следующие детали и узлы:

Ё фрикционные планки, вкладыши подпятников, элементы настила пола, где требуются длительный срок службы и износостойкость. Традиционным поставщиком продукции такого рода является фирма Zeftek, но в последнее время на рынок выходят новые,

такие как Holland (фрикционные планки и изолирующие втулки), Brenco (сепараторы подшипников, фрикционные кольца) и TransTech Products (лобовые стекла);

Еще более крупные детали: раздвижные и распашные двери, внутренние перегородки, где факторами выбора материала являются уменьшение массы и повышение сопротивляемости повреждениям. Высокопрочные композиционные материалы применяются также для изготовления торцевых дверей вагонов для перевозки автомобилей, а также панелей крыш и боковых стенок. Здесь лидирующие позиции занимает фирма Prime Composites, известна также продукция фирм Railcar Specialities и Youngstown Steel Door.

Грузовые железные дороги пока не рассматривали композиционные материалы в качестве основных конструктивных для вагонов, за исключением Burlington Northern (BN), которая еще до слияния с Santa Fe имела опыт совместной работы с компаниями Trinity Industries (отделение Railcar) и DuPont-Hardcore по созданию двух типов облегченных изотермических вагонов большой вместимости. По мнению разработчиков, такие вагоны могли бы способствовать возвращению железных дорог на рынок перевозок скоропортящихся грузов, который был практически потерян из-за недостаточно интенсивной замены и модернизации стареющего парка вагонов-рефрижераторов с механическим охлаждением и изотермических вагонов.

Здесь есть перспективы для развития, так как Trinity получила первый заказ на вагоны-рефрижераторы с кузовами из композиционных материалов. За этими вагонами могут вскоре последовать вагоны других типов, такие как крытые вагоны-хопперы. В этом случае понадобится сотрудничество многих причастных сторон: железных дорог, вагоностроителей, поставщиков сырья, проектировщиков. В отличие от вагонов-рефрижераторов, для которых нужны главным образом плоские композитные панели, для изготовления крытых хопперов потребуются конструкции на базе стекловолокна, полученные методом намотки, т. е. по гораздо более передовой технологии, чем использованная при постройке двух вагонов типа Glasshopper, поставленных много лет назад фирмой ACF Industries дороге Southern Pacific и компании Cargill.

Условия контрактов и совместной работы не разглашаются, но ясно, что основной упор делается на снижение стоимости изготовления и, соответственно, цены нового подвижного состава. Следовательно, необходимо найти такое сочетание материалов и технологии, чтобы обеспечить приемлемую себестоимость, снижение эксплуатационных расходов в расчете на весь срок службы и отсюда привлекательность для потенциальных покупателей. Важны, естественно, такие факторы, как уменьшение собственной массы конструкции вагонов, увеличение вместимости и грузоподъемности, улучшение теплоизолирующих и иных эксплуатационных характеристик.

Экономическая эффективность нового подвижного состава повышается по мере увеличения объема продукции и численности эксплуатируемого парка. Однако высокая цена опытных образцов пока не способствует росту объема заказов. Железные дороги (и не только они), оценивая возможность возврата конкурентоспособности на транспортном рынке, сопоставляют потенциальные выгоды с требуемыми затратами. В то время как рынок обычных грузовых вагонов сформировался и позиции железных дорог в перевозках массовых грузов стабильны, в перевозках скоропортящихся грузов конкуренция автомобильного транспорта еще более остра, и за результат здесь ручаться нельзя, даже несмотря на положительные результаты испытаний вагонов-рефрижераторов, построенных Trinity для компании Coors, интерес к которым проявили Topisana и другие компании, производящие продукты питания.

Вместе с тем работы в этом направлении продолжаются. Помимо Burlington Northern заказчиком компании Trinity стала железная дорога Union Pacific (UP) - 50 вагонов с возможным увеличением заказа. Вагоны для UP будут построены на заводе в Нью-Касле, штат Делавэр, совладельцами которого являются Trinity и Hardcore. По мере выполнения заказа и ввода вагонов в эксплуатацию с их достоинствами и недостатками смогут ознакомиться другие возможные покупатели. Для обоснованного суждения о целесообразности покупки необходимо накопить опыт эксплуатации парка численностью по меньшей мере в сотни вагонов, но если к этому мероприятию присоединятся еще несколько железных дорог и компаний-грузоотправителей, такая цифра вполне достижима.

Кроме вагонов-рефрижераторов, Trinity изучает вопрос применения композиционных материалов в подвижном составе других типов. Планировали использовать новые материалы в вагонах типа Power-Flo, а также выпустить 150 крытых вагонов с композитными крышами; такие вагоны считаются почти идеальными для перевозки бумаги.

Рассматривали также состояние рынка вагонов-хопперов, используемых, в частности, в перевозках зерна. В пересчете на вагонные отправки зерно занимает третье место среди грузов, перевозимых железными дорогами США. Полагают, что большая часть зерна и впредь будет отправляться по железным дорогам. В то же время вагонный парк стареет, и в дальнейшем необходимость в его замене будет ощущаться все острее. Но при предложении вагонов для обновления парка следует обеспечить соответствие цены экономической выгоде (эксплуатационной, маркетинговой, а также чисто финансовой), которую можно получить от использования вагонов с композитными кузовами. Важно продемонстрировать достоинства новых вагонов уже на опытных образцах, иначе отношение к ним будет изначально критическим.

В последнее время активность железных дорог в продвижении действительно новаторских технических решений снизилась. С этим столкнулись фирмы Standard Car Truck и Lockheed Martin, когда они предложили нескольким железным дорогам организовать партнерские взаимоотношения, в рамках которых дороги купили бы и испытали тележки совершенно новой конструкции для грузовых вагонов. Шкворневую балку и боковины таких тележек предполагали изготовить из высокопрочного композиционного материала, что позволило бы при сохранении структурной целостности конструкции значительно уменьшить ее массу. Но такая тележка будет гораздо дороже имеющихся в настоящее время на рынке усовершенствованных тележек фирм ASF, Buckeye Steel Castings и той же Standard Car Truck. Разработчики новой тележки предлагали сотрудничество всем крупным дорогам, делая акцент на ее эксплуатационных и экономических достоинствах. Многие выразили заинтересованность, но никто не пожелал вложить свои средства. Поэтому создание композитной тележки не продвинулось до сих пор.

Лучше обстоит дело с менее революционным проектом дверей из композиционного материала, которые поставляются разными фирмами и проходили испытания в разных условиях эксплуатации на нескольких железных дорогах. Стоимость композитной двери, раздвижной или распашной, может превышать стоимость обычной в 2 раза, но материал, из которого она изготовлена, обладает свойством восстанавливать форму после деформации, и, значит, в случае повреждения двери нет необходимости отставлять вагон от эксплуатации, как это приходится делать для замены металлических дверей, которые не восстанавливают форму после повреждения,

например, вилочным подъемником. Прогноз расходов в расчете на весь срок службы показывает, что стоимость двух замен обычных металлических дверей компенсирует более высокую стоимость композитной двери. Тот факт, что обычную дверь из-за повреждений приходится менять 1 - 2 раза в год, стал для одной из железных дорог серьезным аргументом для размещения заказа на 1000 композитных раздвижных дверей в ходе модернизации эксплуатируемых грузовых вагонов.

Верхнее строение пути

Помимо использования в подвижном составе, наибольший интерес представляет применение композиционных материалов для изготовления шпал. Ограниченное число композитных шпал было уложено на главных и станционных путях железной дороги Conrail. Кроме того, стороны, участвующие в этой работе (железные дороги Conrail, Norfolk Southern, университет Rutgers и Инженерный корпус вооруженных сил), уложили 25 шпал в кривой радиусом 350 м на одном из путей Центра транспортных технологий. Эти шпалы уже выдержали нагрузку в 18 млн. т, но, чтобы можно было сделать какие-либо выводы, по ним надо пропустить 100 млн. т груза.

Композиционные шпалы, по всей вероятности, никогда не будут экономичнее деревянных, но существует возможность их применения там, где проявляются недостатки деревянных шпал, например на грузонапряженных линиях с большим числом кривых малого радиуса или на усовершенствованных стрелочных переводах.

Предпосылки расширения масштабов использования

Расширению масштабов применения композиционных материалов за счет привлечения новых покупателей могут способствовать аргументированные доводы, основанные на доказательствах экономической эффективности. Например, компания Brenco, отмечая эксплуатационные достоинства полиамидных сепараторов, используемых в подшипниках типа Generation 2000, указывала на значительную экономию, достигнутую благодаря применению композитных фрикционных колец, которые в течение года проходили испытания в вагонах маршрутного угольного поезда. Назначением фрикционного кольца является устранение кольцевого износа шейки оси с заранее выполненной канавкой при плохой фиксации подшипника и предотвращение последующих ее повреждений. Раньше канавки восстанавливались методом гальванической металлизации, что обходилось примерно в 200 дол. на ось. Использование композитных фрикционных колец позволит избавиться от этих расходов.

Композиционные материалы нашли применение и в локомотивах, где это было вызвано соображениями аэродинамики, дизайна и безопасности. Отделение Electro-Motive компании General Motors (EMD), получившее заказ железной дороги Long Island в Нью-Йорке на 31 локомотив для обслуживания пригородных перевозок, использовало композиты в конструкциях лобовой части и кабины управления.

EMD исследовало характеристические кривые композиционных материалов, примененных на тепловозах серии F59PHI, поставленных железнодорожной компании Caltrans. Конструкции из композитов показали хорошие эксплуатационные характеристики, в том числе при столкновениях, и по прочности не уступали стальным. Однако даже после этого компания-оператор Amtrak, выполняющая пассажирские перевозки по линиям сети Caltrans, не проявила энтузиазма в отношении применения композиционных материалов.

По мнению сторонников композиционных материалов, одни железные дороги используют возможности, предоставляемые композитными конструкциями кузовов и другими деталями вагонов, а другие по-прежнему обращают внимание только на цену композиционных материалов в сравнении с металлами.

Таким образом, для тех, кто пропагандирует применение высокопрочных композиционных материалов, лучшим образом действий будет терпеливое продолжение научных исследований и испытаний. Возможно, некоторым утешением может служить напоминание о том, сколько лет понадобилось, чтобы, наконец признать, что алюминий - материал подходящий, а иногда и лучший для изготовления конструкций грузовых вагонов, и как много времени и средств было затрачено на это такими фирмами-поставщиками, как Alcoa, Alcan, Reynolds и такими железными дорогами, как Southern. А ведь алюминий - это все-таки металл, а не какой-то неизвестный композиционный материал.

Обеспечение безопасности при столкновениях с помощью разрушаемых зон

Проблема, с которой сталкиваются проектировщики в области поглощения энергии соударения при столкновениях, заключается в том, что необходимо поглотить максимальное количество энергии в условиях ограниченного пространства и в то же время защитить основную конструкцию от перегрузок.

По мнению специалистов корпорации Hexcel, специализирующейся на изготовлении композитных конструкций для локомотивов, пассажирских вагонов и являющейся, в частности, поставщиком таких изделий для высокоскоростных поездов TGV-A, TGV-R, TMST, TGV-AVE, оптимальное решение дают сотовые алюминиевые конструкции. Сотовый алюминий обладает отличными свойствами поглощения кинетической энергии. Его разрушение происходит всегда единообразно, что позволяет рассчитать параметры процесса и предотвратить повреждение несущей конструкции; к тому же деформация происходит без обратной отдачи. В сочетании с малой массой и возможностью придания любой формы это делает сотовый алюминий одним из наиболее надежных, эффективных и практичных из доступных энергопоглощающих материалов. На железнодорожном транспорте конструкции из сотового алюминия используются в виде заведомо разрушаемых зон, устраиваемых в торцевых частях подвижного состава для поглощения энергии в таких целях, как, например, защита кабины управления при столкновении.

Кривая, отображающая зависимость деформации от нагрузки, показывает, что при увеличении деформации нагрузка остается практически постоянной вплоть до полного разрушения, а поглощаемая при этом энергия достигает значительной величины, так что на основную конструкцию нагрузка начинает воздействовать только при полном исчерпании ресурса разрушаемой зоны. Можно оптимизировать конструкцию разрушаемой зоны для восприятия постоянной или переменной нагрузки от разных уровней сил соударения.

G. Welty. Railway Age, 1997, N 8, p. 41, 43 - 45, 70.