

Современная технология изготовления вагонных кузовов

Компания Siemens Transportation Systems в рамках проекта eSIE.CAR разработала модульную конструкцию и новую технологию изготовления вагонных кузовов для региональных электропоездов, что позволяет снизить затраты на производство и обеспечить заказчикам значительное уменьшение эксплуатационных затрат.

Проект выполняется в рамках федеральной научно-исследовательской программы Германии «Мобильность и транспорт» при содействии министерства образования и науки, а также научно-исследовательского объединения FOSTA, специализирующегося в области применения стали.

Все рабочие пакеты являются частью общей концепции, разработанной отделением подвижного состава Siemens TS TR компании Siemens Transportation Systems, и ориентированы на быструю реализацию. Конечной целью проекта является создание семейства современных, надежных и экономичных электропоездов, в частности региональных Desiro.

Обзор подходов, применяемых в проекте

В научно-исследовательском проекте eSIE.CAR используется не один особый подход к повышению экономичности подвижного состава, а несколько, дополняющих друг друга. К ним относятся, в частности, следующие:

- разработка и оптимизация различных процессов;
- применение новых материалов;
- использование новых технологий производства;
- применение модульной конструкции кузова.

Кроме того, необходимо было решить вопросы соединений модулей и быстрого монтажа.

Таким образом, поставленная задача являлась комплексной, и все используемые для ее решения инновационные подходы требовали обязательной взаимной увязки.

Был разработан примерный поэтапный план выполнения проекта. Для его успешной реализации требовалось, с одной стороны, привлечь к участию в работах различные научные организации, с другой — определить подходы к решению на отдельных этапах. Поэтапный план был ориентирован на разработку так называемого технологического прототипа, т. е. кузова вагона с оригинальными размерами, на кото-

ром можно было бы опробовать все подходы как при разработке, так и при изготовлении. Стадии создания технологического прототипа выполнены компанией Siemens TS TR, объединившей усилия партнеров, что позволило дать общую оценку проекта и заключение о его реализации.

Области применения в проекте электронной обработки данных

Современные средства электронной обработки данных и межсистемных коммуникаций в решающей степени повышают экономичность различных процессов предпринимательской деятельности в целом. Речь идет о полном диапазоне процессов, который начинается с рекламы, а также включает в себя приобретение материалов, разработку продукта, изготовление, сдачу в эксплуатацию, а также контроль в течение всего периода эксплуатации.

В рамках проекта eSIE.CAR эксперты Siemens TS TR основное внимание уделяли средствам автоматизации проектирования и вопросам взаимодействия между разработчиками и изготовителями.

Эффективности выполняемых работ способствовало широкое использование возможностей программного обеспечения типа 3D. Разработка проекта eSIE.CAR велась на базе параметрического конструирования. Так, в виде виртуального каркаса были приняты геометрические рамочные размеры в поле общей конструкции. Это позволило реализовать связи между отдельными модулями и выявить наиболее рациональные сопряжения, что значительно упростило разработку конструкций, уже распределенных по местам.

Для снижения высоких затрат, имеющих место при вариантном конструировании или связанных с внесением различных изменений, использовали взаимосвязанные решения и параметрическое конструирование, основываясь на информационном ресурсе (накопленных данных) и идя по нисходящей — от конструкции вагона в целом к его отдельным агрегатам, узлам и деталям. При этом достигался значительный экономический эффект, особенно в случае разработки различных заказываемых модификаций, отличающихся от основного варианта.

Следующим важным процессом является обеспечение соответствия между проектируемой конструк-

цией и расчетной, с одной стороны, и изготовленной и спроектированной — с другой. Такое соответствие было предметом строгого контроля с самого начала работ. При этом использовали преимущественно оптимальное соответствие, особенно для конструкций, в которых сопряжения различных деталей обусловлены применением разнообразной техники для выполнения конечных операций, например гибки, отбортовки, лазерной резки и сварки. Здесь экономия достигается благодаря сокращению затрат времени на подготовительные операции.

Большое значение имеет применение внутренних стандартов и унифицированных деталей. Был использован так называемый пакет программных инструментов, позволяющий разрабатывать не только непосредственно детали, но и их конечно-элементные модели, а также использовать средства автоматизированного проектирования (CAD). При этом большой экономический эффект можно было получить только при условии, что структура с самого начала ориентирована на применение внутренних стандартов, а это облегчается применением модулей и разделением функций между отдельными деталями.

И наконец, в процессе работы требовалось использовать «виртуальную реальность», начиная с этапа обзора и кончая выработкой единого языка конструирования и устранения ошибок. Это было реализовано путем создания упоминавшегося ранее виртуального технологического прототипа, представленного в виде трехмерного изображения кузова с членением на отдельные модули.

Технологии изготовления стальных деталей

Успех технической реализации предлагаемого каркаса кузова обеспечивается применением современных технологий изготовления стальных деталей. Проект eSIE.CAR нацелен на создание дифференцированной стальной конструкции. Изготовление необходимых деталей требует методов, одновременно обеспечивающих высокую производительность, гибкость и точность. Задача сводится не к разработке совершенно новых технологий, а к оценке и оптимизации известных методов по областям применения, позволяющим обеспечить наиболее экономичное использование их при выполнении запланированных работ.

Для широкого применения были выбраны следующие методы:

- лазерная резка плоских листов;
- пространственная лазерная резка;
- отбортовка на станках с ЧПУ;

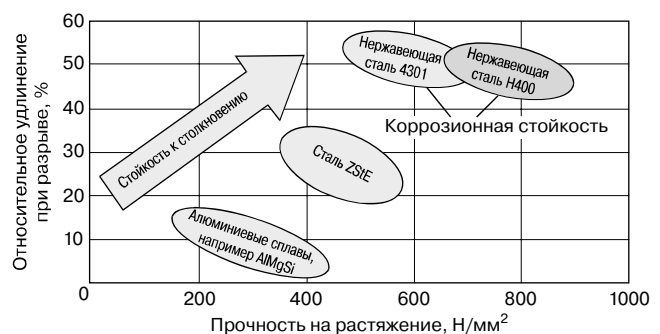
- плоская лазерная сварка;
- пространственная лазерная сварка;
- плоская гибка.

Эти методы можно использовать в любых сочетаниях. Необходимость применения нескольких перечисленных методов для изготовления отдельных деталей обусловило особое внимание к сочетанию методов и определению требований к ним.

Большое значение придавалось также обеспечению высокой точности изготовления отдельных модульных секций: необходимо было работать строго в рамках системы допусков и посадок, что позволило вести быстрый монтаж секций. Были проведены обширные исследования технологий холодных соединений, применяемых при изготовлении самих секций, а также при их соединении. Особая роль отводилась технологии клепки, оптимально дополняющей современные лазерные технологии применительно к стальному листу и профилям. Из множества типов стандартных соединений после многочисленных испытаний были отобраны те, которые оптимально обеспечивали выполнение поставленных требований. Для соединения модулей использовались элементы собственной разработки.

Применяемые материалы

В дополнение к современным технологиям изготовления стальных деталей предлагаются новые возможности применительно к другим материалам. Для несущих структур в проекте eSIE.CAR использовалась новая высокопрочная нержавеющая сталь H400. Благодаря низкому содержанию никеля и возможности изготовления литьем тонкостенных панелей она имеет экономические преимущества по сравнению с другими высококачественными сталями. Умеренная цена стали H400 сочетается с хорошими физико-механическими свойствами (прочность и вязкость), высокой коррозионной стойкостью, пригодностью к лазерной резке и сварке (рисунок).



Механические характеристики сталей и алюминиевых сплавов: ZStE — микрولةгированная мелкозернистая конструкционная сталь; 4301, H400 — нержавеющие стали

Зоны, требующие защиты от коррозии

Опасная зона	Факторы коррозионной нагрузки			
	Соли	Конденсат	Пыль от колодок	Моющие средства
Основание пола	++	++	++	+
Боковая стенка:				
несущая часть	o	+	o	o
наружная облицовка	+	o	o	++
Крыша:				
несущая структура	o	+	o	o
наружная облицовка	o	o	o	++

Примечание. Введены следующие обозначения: «o» — нагрузка отсутствует; «+» — незначительная нагрузка; «++» — большая нагрузка.

Благодаря значительной склонности к наклепу вследствие аустенитной структуры эта сталь обладает высоким энергопоглощением, что существенно в случае столкновений и ударов. Кроме того, она используется и для изготовления предусмотренных проектом усовершенствованных трехслойных плит. Соответствующие характеристики стали допускают применение выбранных типовых сварных соединений.

Особое требование при выборе материала предъявляется к его антикоррозионным свойствам. Применение высокопрочных аустенитных сталей для изготовления несущих конструкций кузова вагона позволяет отказаться от трудоемких мероприятий по защите их от коррозии. Разработана концепция антикоррозионной защиты, согласно которой несущий каркас разделен на несколько зон с различными коррозионными нагрузками. При этом учитывались воздействия солей, кислотных и щелочных моющих средств, а также ферритной пыли от тормозных колодок.

Все антикоррозионные мероприятия были распределены по зонам применения. Проведенные испытания показали, что использование высококачественной аустенитной стали позволяет отказаться от антикоррозионной защиты больших поверхностей несущей конструкции. В определенных зонах такая защита особо необходима, в частности в местах соединений (таблица).

Концепция модуляризации

Разделение конструкции на модули не является самоцелью, оно осуществляется для получения значительных экономических преимуществ как при изготовлении, так и в эксплуатации. Эти преимущества заключаются в возможностях предварительной сборки и параллельного ведения работ, минимиза-

ции оборудования для монтажа, удобстве транспортировки, ремонтпригодности, простом техническом обслуживании локальных модулей. Основными модулями, из которых собирается кузов, являются крышевые, торцовые, дверные, секции боковых стенок, элементы высокого и низкого пола, модули нижней рамы, а также модуль кабины.

В принципе, модуляризация пригодна и для поэтапного применения, которое может быть ориентировано на конкретные особенности проекта и его риски.

Крышевой модуль

Этот модуль в зависимости от длины кузова может состоять из одной или двух секций. В проекте eSIE.CAR крышевой модуль технологического прототипа состоит из двух секций с различными посадочными местами для крышевых агрегатов. Так, на крышевой секции, расположенной над зоной низкого пола, предусмотрены места для размещения установки кондиционирования воздуха и части электрооборудования.

Экономические преимущества при использовании модулей обусловлены следующим:

- отсутствием сварных соединений между секциями крыши;
- возможностью предварительной сборки крышевых секций, что ведет к снижению расходов на монтаж, особенно по сравнению с обычной сборкой, которая, как правило, ведется монтажниками снизу;
- отказом от антикоррозионных мероприятий, поскольку внутренние поверхности крыши находятся в зоне с малыми коррозионными нагрузками;
- экономией при ведении работ по внутренней отделке вагона, которые значительно облегчаются за счет того, что крыша еще не установлена;
- возможностью упрощения ремонта и модернизации внутреннего оборудования, благодаря тому что крышевой модуль может быть снят.

Модуль кабины

В головном модуле или модуле кабины, в том числе на пульте машиниста, особенно монтируется много оборудования, поэтому для снижения затрат на монтаж практикуется его предварительная сборка. С учетом требований к повышению безопасности при столкновениях в концепции проекта предусмотрено выполнение головного модуля с внутренним несущим каркасом и сегментированной наружной облицовкой.

Сталь, особенно нержавеющей Н400, а также соединения элементов из этого материала, выполненные лазерной сваркой, обладают высоким энергопоглощением. Благодаря этому Н400 пригодна для соз-

дания внутренних несущих конструкций, рассчитанных на лобовые столкновения.

В эксплуатации региональные электропоезда относительно часто получают повреждения головной части. В предусмотренной проектом eSIE.CAR облицовке головного модуля в зависимости от тяжести повреждения может быть заменен один или несколько сегментов. Это снижает затраты на ремонт и сокращает время простоя поезда.

Модули боковых стенок и дверей

Модули боковых стенок и дверей обеспечивают дополнительные экономические преимущества. Проектом предусмотрено использование холодных способов соединения модульных секций, в частности клепки впотай, позволяющей получить даже относительно большие стальные конструкции. Эта операция не сопровождается короблением, не требует специальной оснастки, что позволяет отказаться от применения сложной сварочной техники и исключить рихтовочные работы.

Изготовление несущей конструкции секций боковых стенок можно рассматривать как чисто монтажный процесс, к которому применимы все известные методы оптимизации. К ним относятся предварительное и параллельное изготовление деталей, распространяемое не только на несущие структуры, но и на детали наружной и внутренней облицовки, а также на сиденья, устройства шумо- и термоизоляции, воздухопроводы для системы кондиционирования, каналы для прокладки кабелей. При этом возможна заметная экономия рабочего времени.

Преимущества использования внутренних стандартов на отдельные детали и узлы особенно заметны применительно к модулям боковых стенок, причем не только к несущим элементам, но и к наружной облицовке. Последняя состоит из предварительно изготовленных полимерных профилей, армированных стекловолокном, которые крепятся к несущему каркасу модулей, образуя коробчатую конструкцию.

Окончательное покрытие выполняется из пленки, на которой могут быть напечатаны необходимые надписи и изобразительные элементы, предусмотренные дизайнерским проектом. Это позволяет отказаться от использования жидких лакокрасочных покрытий, что дает заметную экономию средств. Одновременно снижаются затраты на техническое обслуживание и ремонт: на боковой стенке при небольших повреждениях возможна замена отдельных участков облицовки.

Дверной модуль имеет жесткую раму, на которой расположено оборудование устройств, предназначенных для привода дверей и управления им. Рама

не является составной частью несущей структуры кузова, а служит лишь для компоновки этого оборудования. В результате упрощается окончательный монтаж, что также обеспечивает экономию времени.

Модули нижней рамы

В проекте eSIE.CAR предусмотрено выполнение нижней рамы из нескольких секций. Существуют различия между модульными секциями, выдерживающими большие нагрузки, например, консолью пульта машиниста, кронштейном короткой сцепки и т. п., и простыми модульными секциями, расположенными в ненагруженных зонах с высоким и низким полом. При изготовлении последних использованы холодные соединения, что позволяет сделать удлинение секций минимальным. В любом случае можно отказаться от большей части сварных соединений на нижней раме, так как модульные секции стыкуют с помощью специально разработанных крепежных устройств и соединителей продольных балок.

После установки нижней рамы и ее предварительной сборки на ней размещают автономные модули. Эту работу можно выполнять параллельно с установкой модульных секций боковых стенок, головного и крышевого модулей.

Таким образом, время монтажа кузова сокращается в результате снижения объема монтажных работ и их параллельного выполнения.

Заключение и перспективы

Разработка концепции кузова вагона модульной гибридной конструкции и создание его технологического прототипа является важным достижением отделения Siemens TS TR. Использование современных технологий производства и конструирования, соответствующих материалов (сталей новых марок) и способов их соединения, а главное, построение кузова из модулей позволили получить облегченную и экономичную конструкцию вагона для новых региональных поездов.

Результаты научно-исследовательского проекта отделение Siemens TS TR реализовало, создав привлекательный для пассажиров, надежный и вызывающий доверие у компаний-перевозчиков электропоезд семейства Desiro, предназначенный для регионального сообщения.

K. Altenburg et al. Glasers Annalen, 2004, Tagungsband SFT, S. 208 – 215.