

**АСПЕКТЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ,
СВЯЗАННЫЕ С РЕАЛИЗАЦИЕЙ ИНСТРУМЕНТОВ СКВОЗНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

© 2024 И.А. Беляева, В.Н. Козловский, О.Д. Ибрагимов

Самарский государственный технический университет, г. Самара Россия

Статья поступила в редакцию 06.02.2024

В статье представлены результаты исследования вопроса обеспечения качества конструкции электромобилей при реализации инструментов сквозного проектирования.

Ключевые слова: конкурентоспособность, качество, автосборочное производство, электромобиль.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-1-15-19

EDN: PFWPSP

Все этапы конструкторско-технологической подготовки производства новых автомобилей (проектирование изделия и технологий, разработка технологической оснастки, создание управляющих программ, расчет на прочностные характеристики и пр.) должны пройти через комплексную систему сквозного проектирования и изготовления. В единой среде создается сквозная интегрированная цепочка «конструкция изделия – конструкция, оптимизированная по результатам инженерного анализа – макетные образцы – технология – конструкция оснастки – управляющие программы для станков с числовым программным управлением, робототехнических комплексов и т.д.».

Прототипное проектирование разного уровня играет существенную роль при организации расчетных работ. Одна из задач, поставленная перед конструкторами – выделение совместно со специалистами предприятия типовых деталей изделия из всего их множества. Таких деталей может быть существенный объем. Сейчас появилась возможность создания изделий – прототипов, например, на 3 D принтерах, на основе компьютерного моделирования. Разрабатываемое изделие в разных видах, в виртуальной среде, можно разбирать, собирать на экране монитора, а затем «распечатать» в виде реальной конструкции. Появились сравнительно недорогие установки быстрого натурального прототипирования [1 – 3].

Изготовленный на таких установках прототип, в отличие от компьютерного, является реальным. Его можно проверить на собираемость, в реальных условиях оценить его функциональ-

ность и даже работоспособность, проведя натурные испытания у заказчика, - причем сделать все это можно быстро, не прибегая к изготовлению специальной оснастки. Понятно, что оперативные изменения в конструкцию дешевле и проще вносить на ранних стадиях, не доводя дело до серьезных производственных проблем с большими финансовыми и материальными затратами.

Изделия, детали и узлы – прототипы чрезвычайно важны не только для конструкторов, но и открывают новые возможности для других служб автопроизводителя (таблица 1)

Использование современных инструментов моделирования и создания прототипов обеспечивает оперативное решение проблем, например если в процессе построения математической модели были выявлены ошибки сборки, связанные с неправильными исходными размерами деталей, их расположений относительно друг друга, то на данном этапе проектирования их достаточно легко исправить. В отсутствие спроектированного варианта математического макета модели, все эти ошибки стали бы заметны только на этапе реальной сборки в цехе. По экспертным оценкам, на их устранение в цехе и изменение документации потребовалось бы, с учетом доработки отдельных деталей и изготовления новых взамен бракованных, не менее двух месяцев. В спроектированном варианте, подобные ошибки выявляются автоматически, на их обнаружение и устранение потребовалось от одного дня до недели, если вопрос стоит в нахождении оптимального варианта изменения конструкции изделия [4].

Особенностью моделирования и разработки автомобилей в последние годы стало растущее стремление ускорить процесс, повысить качество разрабатываемого транспортного средства и снизить стоимость разработки автомобилей, которые будут обладать меньшей массой. Это достигается благодаря широкому использова-

Беляева Ирина Александровна, кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник.

E-mail: toe_fp@samgtu.ru,

Владимир Николаевич Козловский, доктор технических наук, профессор. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

Ибрагимов Олег Дамирович, аспирант.

E-mail: ibrleg@outlook.com

Таблица 1 – Возможности использования прототипов деталей для функциональных служб автосборочного предприятия

Служба	Возможность при использовании прототипа
Маркетинг	Эффективно проводить исследования рынков сбыта, демонстрируя заказчикам и потребителям образцы будущего изделия, а также использовать их в рекламных кампаниях
Продаж	Своевременно учесть требования и пожелания клиентов, значительно быстрее достигнуть взаимопонимания с ними
Конструкторская	Легко оценивать варианты внешнего вида, эргономику и функциональность конструкции, внося необходимые изменения еще до запуска изделия в производство
Технологическая	Использовать их в качестве мастер – моделей для изготовления традиционной технологической оснастки (например, литьевой), а также в технологиях быстрого изготовления опытных партий (например, при использовании силиконовых)
Сервисная	Своевременно сформулировать свои требования и пожелания к конструкции изделия

нию высокопрочных сталей, алюминия, магния и пластмасс, а также с постоянно растущим использованием уникальных деталей и технологий.

Производство деталей кузова из этих материалов создает трудности, потому что процесс формовки сложнее, чем с мягкой сталью, и у производителей недостаточно опыта при работе с подобными материалами. Поэтому **предварительное моделирование** процесса формования на стадии разработки становится все более важным. Сегодня существует ряд методов моделирования для достижения различных целей на каждом этапе

Предварительное моделирование имеет большое значение для автомобильных деталей из листового металла. Моделирование процесса формования металла, такого как глубокая вытяжка, влияет технологический процесс и выбор материала. Моделирование процесса формования листового металла деталей кузова автомобиля может быть классифицировано в соответствии с используемым методом, таким как одношаговое или точное поэтапное моделирование конечных элементов и этапом процесса разработки, на котором реализуется метод.

Использование различных методов **предварительного моделирования** обеспечивает экономию затрат при изготовлении инструмента и на подготовительных этапах, если они полностью интегрированы в процесс разработки. Также моделирование может значительно сократить общее время разработки и повысить качество продукта.

Оценка технологичности детали, выполненная вовремя, точно и в доступной для понимания конструктора форме важна для ее оптимального проектирования [5].

Анализ технологичности детали позволяет быстро определить ее проблемные зоны, в частности зоны возможных разрывов, чрезмерного утонения или возникновения гофр. Каждый компонент, который входит в состав автомобиля подвергается рассмотрению с технологической точки зрения. Первым шагом, который рекомендуется при начальных расчетах – это одношаговый расчет на технологичность. Данный этап помогает обнаружить критичные зоны и передать изделие на конструктивную доработку. Таким образом, предварительный расчет технологичности и оптимизация процесса повышает качество получаемого изделия и оптимизацию технологического процесса (например, убирая один или два перехода, уменьшая экономические затраты на изготовление одного или два последовательных инструмента для штамповки)

Получается, что быстрая оценка штампуемости позволяет на ранней стадии оценить деталь по основным, с точки зрения формообразования, критериям качества, а именно наличия разрывов, высокой степени утонения и возможности образования складок. Она осуществляется на ранней стадии проекта, когда разработана геометрия детали, но не разработаны инструмент и технологический процесс. Основываясь только на геометрии детали, инструмент быстрой оценки штампуемости, например, в AutoForm пытается проанализировать как будет происходить процесс формования в серийном производстве. При определении наличия тех или иных проблем, он способствует поиску альтернативных решений для их устранения.

Помимо возможности быстрой оценки штампуемости, на данном этапе можно определить форму заготовки, норму расхода и стоимость материала. Использование некоторых программных продуктов дизайнер/конструктор автомобиля, проектировщик технологических процессов или формообразующих поверхностей получает наилучший дизайн детали, не требующий изменений при дальнейшей технологической проработке.

Уже на стадии разработки конструкции детали срабатывает условный режим параллельного инжиниринга, который способствует выбору наилучшей ее формы и способа производства. Полученная на начальном этапе форма детали и концепт технологии ее производства могут быть использованы в дальнейшем при проектировании цепочки технологических процессов. Все это позволяет избежать множества возможных ошибок.

Одной из сильных сторон математического моделирования является то, что концепт технологии производства и формы инструмента могут быть разработаны на очень ранних стадиях. И является оптимально для реализации режима параллельного инжиниринга, позволяющее проектировать надежные и технологичные детали, требующие минимальных производственных затрат.

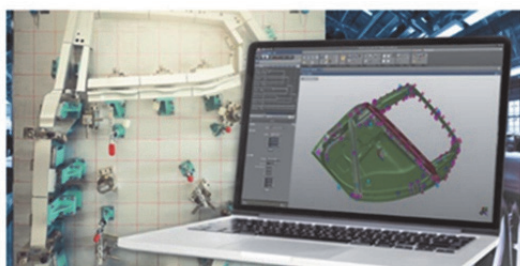
Программное обеспечение может использоваться на всей цепочке проектирования сборочных операций, от экспресс анализа на самых ранних этапах, до подробной проработки технологических процессов и их внедрения в

производство. Использование различных программных продуктов в сборочном производстве позволяет глубже понять суть технологического процесса сборки «черного» кузова, быстро выбрать между разными альтернативными формами той или иной детали в сборочной единице и схемами технологического процесса, определить причины отклонений размеров узла от номинальных и принять меры по минимизации этих отклонений. Как результат, пользователь получает «черный» кузов в сборе с отклонениями размеров в пределах установленного допуска (рисунок 1).

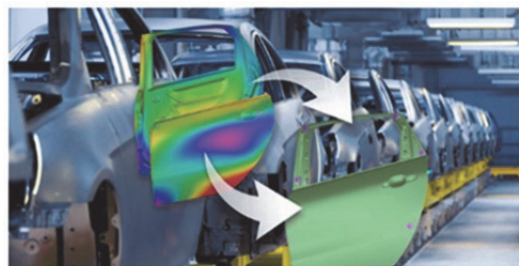
Анализ осуществимости операций сборочного производства позволяет быстро идентифицировать потенциально проблемные области и найти альтернативные варианты технологии для устранения проблем в этих зонах.

В настоящий момент, задачи, решаемые различными конфигурациями комплекса технологической программы (AutoForm) можно разделить на три большие группы: быстрая предварительная проверка технологичности детали; предварительный анализ инструмента; быстрая разработка геометрии вытяжного перехода и ее оптимизация; виртуальная отработка технологического процесса листовой штамповки в целом.

Для анализа штампуемости, например компания AutoForm учитывает, что конечными пользователями будут являться конструкторы деталей, а не специально подготовленные расчетчики. Оценка технологичности должна проводиться параллельно с разработкой кон-



Анализ осуществимости операций сборочного производства



Определение стратегии компенсации пружинения



Обеспечение процесса зафланцовки

Рисунок 1 – Пример решения проблемы качества кузовной детали автомобиля с применением современного инструментария проектирования и производства

струкции детали одним и тем же человеком, для этого не нужно создавать специальные подразделения и тратить средства и ресурсы на обмены информацией и длительные согласования. С другой стороны, анализ технологичности не должен являться дополнительной нагрузкой для конструктора. Средство анализа должно быть максимально простым и удобным, быстрым и достоверным. При соблюдении этих требований к программе, она становится помощником в работе, основой для принятия правильных решений на самой ранней стадии проектирования, сводит к минимуму количество переделок конструкции, связанных с процессом изготовления, тем самым реально разгружая конструктора детали и ускоряя его работу. В качестве программного решения анализа технологичности на раннем этапе проектирования AutoForm предлагает комплекс AutoForm – OneStep (расчет в один шаг). Этот метод решения также называют **обратным**. Он позволяет за один шаг решения перейти от конечной формы детали к исходной плоской заготовке и получить в результате распределение толщин, утонений, пластических деформаций, напряжений, различных критериев разрушения по детали.

В качестве исходных данных для анализа штампуемости AutoForm – OneStep использует геометрию детали, построенную в любой современной CAD – системе. Необходимо также задать материал листа, толщину листа и, примерно, описать условия закрепления листа. В процессе расчета точки на поверхности детали проецируются на плоскость, и получается, так называемый, минимальный контур заготовки с качественными и количественными характеристиками штампуемости. Все необходимые для расчета данные вводятся на одной странице интерфейса, расчетная сетка строится автоматически. У пользователя также имеются возможности по проверке и подготовке геометрии к расчету: проверка на наличие поднутрений, определение оптимального направления вы-

тяжки, скругления острых кромок, сглаживание внешней кромки детали. Наличие поднутрений ухудшает технологичность детали, так как требует введение дополнительных операций и усложнений конструкции штампов. Поиск оптимального направления вытяжки позволяет перейти от системы координат автомобиля, в которой строилась деталь, к системе координат штампа, где направление вытяжки совпадает с осью Z. Наличие средств по скруглению острых кромок позволяет, во-первых, проводить анализ штампуемости параллельно с разработкой конструкции детали, когда не все конструктивные элементы ещё отработаны, во-вторых, по результатам расчета определять оптимальные радиусы скруглений, исходя из требований технологичности. Сглаживание внешней кромки детали приближает пользователя к учету влияния технологической надстройки, это необходимо для плавного распределения тормозящих усилий по краю детали. Как правило, на подготовку детали к расчету уходит не более 5 минут, так как все операции автоматизированы. На обсчет уходит, примерно, столько же время. Таким образом, уже через 10 минут можно делать первые выводы о штампуемости детали и получить в качестве результатов распределение деформаций и толщин.

В процессе расчета, на каждый элемент, действуют силы различного знака и направления. Затем по ним рассчитываются деформации, а далее рассчитываются напряжения. Далее определяется месторасположение элемента на диаграмме предельной штампуемости (рисунок 2).

Используя инструменты математического моделирования на более поздних стадиях проектирования, можно компенсировать пружинение, возникающее в процессе сборки и внести необходимые изменения в процесс штамповки соответствующей детали. Программное обеспечение автоматически создает новую целевую геометрию детали (или деталей) сборочной единицы, которая отличается от исходной но-

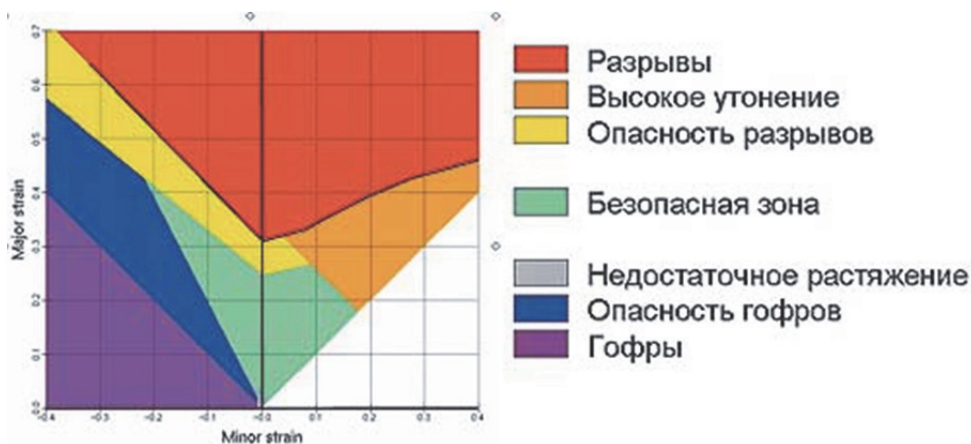


Рисунок 2 – Пример реализации инструментов проектирования деталей с помощью программной среды AutoForm – OneStep

минальной геометрии (CAD-0) этой детали. С новой геометрией пользователь может внести изменения в процесс штамповки этой детали и определить эффективную стратегию компенсации пружинения сборочной единицы в целом.

Выбранный метод моделирования процесса полного жизненного цикла автомобиля зависит от конечных результатов, которые должны быть получены, и данных, доступных на определенном этапе разработки. При подобных методах обычно для моделирования требуется только геометрия компонента и минимальные ее характеристики – материал, толщина (если это не объемный компонент или компонент, который отвечает за тепловые, электромагнитные и другие подобные явления). Характеристики материала и толщина листа являются достаточным набором характеристик для начала работы по моделированию формования. Более точные одностадийные результаты можно получить, включив элементы в математическую модель расчета, чтобы учесть влияние инструмента формовки. Кроме того, эти данные можно использовать для последующего точного проектирования самой оснастки.

В настоящее время результаты моделирования должны рассматриваться как один из вариантов оценки качества конечного результата. Более того, на ранних стадиях разработки кон-

цепции автомобиля результаты являются достаточно точными, чтобы позволить разработать не только производимую деталь, но и собрать виртуальный макет, а затем и прототип.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Козловский, В.Н. Комплекс электронных систем управления движением легкового автомобиля с комбинированной силовой установкой. Часть 1 / В.Н. Козловский, В.И. Строганов, В.В. Дебелов, М.А. Пьянов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2014. – Т. 10. – № 1. – С. 40-49.
2. Козловский, В.Н. Цифровая среда поддержки управления конкурентоспособностью / В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров, Д.И. Панюков, М.М. Васильев // Стандарты и качество. – 2018. – № 6. – С. 86-89.
3. Козловский, В.Н. Надежность системы электрооборудования легкового автомобиля / В.Н. Козловский, В.Е. Ютт // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2008. – № 3. – С. 37-40.
4. Kozlovskiy, V. Analytical models of mass media as a method of quality management in the automotive industry / V. Kozlovskiy, D. Aydarov // Quality - Access to Success. – 2017. – Т. 18. – № 160. – С. 83-87.
5. Козловский, В.Н. Потребительская ценность качества автомобилей / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, Д.В. Айдаров, С.А. Шанин // Стандарты и качество. – 2017. – № 12. – С. 76-80.

ASPECTS OF ELECTRIC VEHICLE QUALITY ASSURANCE ASSOCIATED WITH THE IMPLEMENTATION OF END-TO-END DESIGN TOOLS

© 2024 I.A. Belyaeva, V.N. Kozlovsky, O.D. Ibragimov

Samara State Technical University, Samara, Russia

The article presents the results of a study on the issue of ensuring the design quality of electric vehicles when implementing end-to-end design tools.

Keywords: competitiveness, quality, car assembly production, electric car.

DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-1-15-19

EDN: PFWPSP

REFERENCES

1. Kozlovskiy, V.N. Kompleks elektronnyh sistem upravleniya dvizheniem legkovogo avtomobilya s kombinirovannoy silovoy ustanovkoj. CHast' 1 / V.N. Kozlovskiy, V.I. Stroganov, V.V. Debelov, M.A. P'yanov // Elektrotekhnicheskie i informacionnye komplekсы i sistemy. – 2014. – Т. 10. – № 1. – С. 40-49.
2. Kozlovskiy, V.N. Cifrovaya sreda podderzhki upravleniya konkurentosposobnost'yu / V.N. Kozlovskiy, D.V. Ajdarov, D.I. Panyukov, M.M. Vasil'ev // Standarty i kachestvo. – 2018. – № 6. – С. 86-89.
3. Kozlovskiy, V.N. Nadezhnost' sistemy elektrooborudovaniya legkovogo avtomobilya / V.N. Kozlovskiy, V.E. Yutt // Elektronika i elektrooborudovanie transporta. – 2008. – № 3. – С. 37-40.
4. Kozlovskiy, V. Analytical models of mass media as a method of quality management in the automotive industry / V. Kozlovskiy, D. Aydarov // Quality - Access to Success. – 2017. – Т. 18. – № 160. – С. 83-87.
5. Kozlovskiy, V.N. Potrebitel'skaya cennost' kachestva avtomobilej / V.N. Kozlovskiy, G.L. Yunak, D.V. Ajdarov, S.A. Shanin // Standarty i kachestvo. – 2017. – № 12. – С. 76-80.

Irina Belyaeva, Candidate of Technics, Associate Professor, Research Fellow. E-mail: E-mail: toe_fp@samgtu.ru

Vladimir Kozlovsky, Doctor of Technics, Professor.

E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru

Oleg Ibragimov, Postgraduate Student.

E-mail: ibrleg@outlook.com