



Простота окупается

Применение принципов проектирования с учетом требований технологии изготовления и сборки в АББ

Томаш Новак, Марцин Хромняк, Роберт Секуля, Лукас-Лю Гао

Усиление конкуренции – признанный факт из жизни компаний. Сколько существует мировой рынок, столько и слышны возмущения компаний по поводу сильной конкуренции на нем. Нет никакого сомнения, что эта же мысль будет высказываться в обозримом будущем, как, впрочем, и в далеком.

Способность эффективно разрабатывать и изготавливать высококачественные изделия с разумной ценой, отвечающие ожиданиям потребителя – необходимое условие длительного сохранения прибыльности предприятия и его конкурентоспособности на мировом рынке.

Однако способы, которыми компании могут этого добиться, со временем меняются. Методы, работавшие вчера, необязательно будут действовать на рынке сегодня или завтра. В этой связи важная роль отводится принципу проектирования изделий с учетом условий производства и сборки.

Компания АББ реализовала у себя эту простую инженерную идею и применяет методы DFMA (Design for Manufacturing and Assembly) с большим успехом.

На начальном этапе развития процессов проектирования и изготовления господствовала концепция последовательной разработки, предусматривавшая специализированные, при этом отделенные друг от друга этапы разработки (т.е. подход «я проектирую, ты производишь»). Различные виды деятельности по разработке, такие как проектирование, создание технологии, испытания и обслуживание, осуществлялись разными отделами. Такой подход прекрасно работал на первой производственной линии Форда в начале XX века при изготовлении Форда-Т. К процессу разработки изделий также применялся принцип Фредерика Тейлора, гласящий, что любая сложная работа может быть преобразована в последовательность отдельных простых действий. Эти подходы и сегодня вполне при-

годны для организации процессов производства простых, стандартных изделий.

Однако недостатки такой последовательной разработки стали явными, по мере того как компании росли и охватывали другие континенты, технологии совершенствовались, а проблемы становились все сложнее. Во-первых, организационные структуры компаний стали такими, что многие отделы оказались разбросаны не только по разным зданиям, но и по разным странам. Жизненно необходимые общение и сотрудничество в лучшем случае сократились до абсолютного минимума.

Это, в дополнение к техническим проблемам, связанным с ростом сложности продукции, не говоря уже об ускорении вывода продукции на ры-

нок, часто приводило к появлению разработок, которые, говоря простым языком, не могли быть изготовлены.

Возникла необходимость в параллельной, согласованной организации инженерной деятельности, более ориентированной на сотрудничество и обмен информацией между различными отделами вне зависимости от их местонахождения. В последние годы было предложено несколько методов: Quality Function Deployment, Robust Design, Collaborative Manufacturing, Rapid Prototyping и Design for Manufacturing and Assembly (DFMA). Из всех перечисленных методов DFMA (разработка с учетом требований технологии изготовления и сборки), пожалуй, выделяется особо и является наиболее эффективным.

Технологии производства

В очень общих чертах, DFMA – это набор методик и принципов, регулирующих процесс проектирования изделий таким образом, чтобы заранее оптимизировать все этапы жизненного цикла изделия (изготовление, сборку, испытания, закупку, доставку и обслуживание).

DFMA для новичков

Сокращение издержек и ускорение выхода продукции на рынок стали одними из наиболее важных факторов успеха компании. Для достижения этих целей важно сократить число прототипов. Чтобы это произошло, необходимо, чтобы культура анализа стала нормой.

На стадиях опытно-конструкторских работ при создании нового изделия необходимо тщательно учитывать затраты и факторы, влияющие на них. Однако обычно ими пренебрегают, просто потому, что у проектировщиков нет надежного метода их изучения и учета. Метод DFMA позволяет группам разработчиков анализировать и ис-

DFMA

Компания АББ недавно начала сотрудничество с проф. Робертом Стерджесом из Виргинского технологического университета. Профессор обучает нынешних и будущих руководителей АББ принципам DFMA. Вот что проф. Стерджес говорит о методе DFMA: «В промышленности распространен ряд мифов, которые не позволяют нам всерьез подойти к глубокому пониманию осуществляемых процессов:

- Если вы что-то разработали, вы можете это изготовить.
- Если вы можете что-то начертить, вы можете это изготовить.
- Метод DFMA решает несуществующую проблему, поскольку производство ведется в структурированной среде.

Мы противопоставляем этим соображениям факты из реального современного производства:

- Детали изготавливаются машинами, но работают с ними в основном люди.
- Если мы сделаем деталь более простой для машины, человеку будет проще с ней работать.
- Если человеку работа не дается с легкостью, необходимо разрабатывать изделие и процесс производства вместе.

Метод DFMA снабжает нас инструментами и способами для работы над конструкцией изделий и процессом производства с применением количественных аналитических и экономических критериев».

следовать влияние принимаемых ими проектных решений на затраты на любом этапе разработки изделия. Метод позволяет применить стратегию раннего выявления факторов, вызывающих рост затрат, и выработать меры снижения влияния таких факторов во время производства.

Метод DFMA в целом подразделяется на два взаимодополняющих метода: Design for Assembly (проектирование с учетом условий сборки) и Design for Manufacturing (проектирование с учетом условий производства).

Design for Assembly (DFA)

На ранних стадиях проектирования первостепенную роль для обеспечения целевых показателей стоимости играет ограничение количества деталей. DFA – это методика, позволяющая упростить изделия за счет более внимательного отношения проектных групп к количеству деталей и его сокращению. Она позволяет инженерам-проектировщикам определить теоретический минимум деталей, необходимых в проекте, чтобы изделие выполняло необходимые функции. При выявлении и исключении unnecessary деталей можно исключить и ненужные затраты на производство и сборку. Иными словами, выпуск изделий требует меньшего числа производственных и сборочных операций, а производственные процессы при этом могут быть объединены или даже упрощены. Затраты, связанные с закупками, складированием и техническим обслуживанием, также могут сократиться при уменьшении количества деталей. Кроме того, при меньшем числе деталей снижается объем товарных запасов и незавершенной продукции в обработке.

В DFA есть два основных принципа:

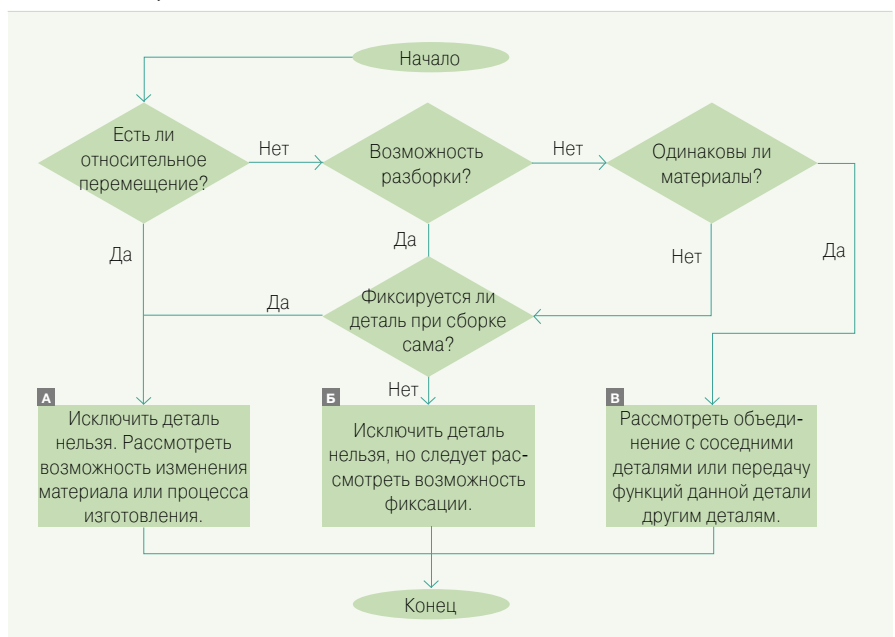
- Идеально сконструированная деталь – это отсутствующая деталь!
- Если деталь невозможно исключить, необходимо свести к минимуму время на ее захват, позиционирование и монтаж.

Стратегии сокращения числа деталей связаны с приданием, по возможности, нескольких функций отдельным деталям (рис. 1). В частности, это относится к элементам, наличие которых не обязательно для работы изделия, не предписано стандартами (нормами) или требованиями заказчика.

В методе DFA считается необходимым анализировать конструкцию на самых ранних этапах проектирования как отдельных деталей, так и всего изделия на предмет сложности при сборке. В таком анализе изучаются три аспекта.

- Относительное перемещение: если есть необходимость в относительном перемещении двух активных компонентов, вероятнее всего, потребуются отдельные детали (т.е. сокращение числа деталей невозможно). Однако необходимо рассмотреть варианты замены материалов или процессов, применяемых для изготовления таких деталей. Небольшое перемещение может быть обеспечено иначе, например, с помощью пластиковых шарниров, изгиба или других способов сочленения.
- Необходимость разборки (обслуживания): хотя во время работы относительное перемещение компонентов может отсутствовать, какой-либо из компонентов может потребовать регулировки или замены.

1 DFA: поиск ненужных деталей



- Различные материалы: если нет веской причины изготавливать совмещаемые компоненты из материалов с разными свойствами, например, электрическими или механическими, можно применить методику сокращения числа деталей.

Наконец, необходимо проверить, фиксируется ли деталь после сборки сама по себе. Если это так, следует изучить возможность отказаться от части крепежных деталей или соединительных элементов.

После максимально возможного сокращения числа деталей переходят к упрощению процесса сборки. Способ реализации процесса сборки в значительной степени зависит от конструкции компонентов и способа их сочленения. Поэтому необходимо проанализировать геометрические параметры отдельных компонентов: форму, допуски, габаритные размеры, а также массу. Кроме того, следует учесть и такие вопросы, как способ крепления, направление движения при сборке, способ совмещения и установки на место.

Анализ процесса сборки опирается на понятие, так называемого, «штрафного времени» – некоего искусственного критерия для оценки потенциальных сложностей при сборке. Изучается каждый аспект процесса сборки и ему присваивается определенное количество очков времени. Пример значений штрафного времени для стадии крепления в процессе сборки приведен в табл. 1.

Тщательный анализ по методу DFA должен привести к созданию изящного процесса сборки изделия из меньшего числа компонентов, эффективно выполняющих свои функции и удобных в сборке.

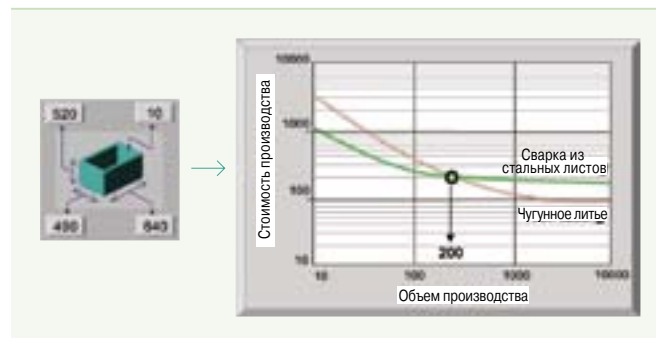
Design for Manufacturing (DFM)

Метод DFM – системный подход, позволяющий конструкторам спрогнозировать стоимость изготовления на ранних этапах конструирования, даже на том этапе, когда известна лишь приблизительная форма изделия.

Штрафное время на ручные крепежные операции

Способ крепления	Штрафное время
Никакого крепления или установка просто на защелках (деталь устанавливается поверх или внутрь уже установленной детали)	0 с
Монтаж на винтах или запрессовка	3 с
Крепление с помощью клея, сварки, пайки, клепки	8 с

2 DFM: график определения точки критического объема производства



Конструкторы обычно рассчитывают на знакомые им производственные процессы. Метод DFM, однако, поощряет более полное изучение всех процессов формирования нужных геометрических форм, а также различных материалов, чтобы производство компонентов и изделий было более экономичным. Рассмотрим, например, изготовление простого корпуса изделия. Анализ по методу DFM показывает, что при объеме производства менее 200 изделий дешевле использовать сварку из стальных листов. При больших объемах экономически более оправдано литье из чугуна (рис. 2).

Метод DFM – системный подход, позволяющий конструкторам спрогнозировать стоимость изготовления на ранних этапах конструирования, даже на том этапе, когда известна лишь приблизительная форма изделия.

В методе DFM также предусмотрены конкретные указания для различных процессов, что проиллюстрировано простым примером на рис. 3. Относительно процесса механообработки даются следующие рекомендации.

- Рассмотреть возможность изготовления деталей, требуемых в большом количестве, путем литья или штамповки для сокращения объема механообработки.
- Рекомендуется изготавливать литые и штампованные детали в окончательной форме для минимального использования механообработки.
- При конструировании следует обеспечить удобство крепления, предусмотрев большую сплошную монтажную поверхность и параллельные установочные поверхности.
- Избегайте форм с острыми углами или концами, поскольку их изготовление ведет к большей нагрузке на режущие инструменты.

- Избегайте тонких стенок, тонкостенных балок, глубоких отверстий или ниш, поскольку они могут быть деформированы при зажиме или обработке.
- Если это возможно, следует предпочесть прямоугольные формы скругленным и криволинейным.
- При отсутствии абсолютной необходимости избегайте использования материалов повышенной твердости или сложных в обработке.

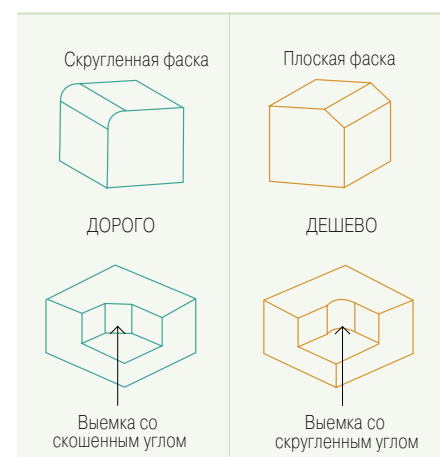
- Для сокращения числа операций поверхности, подлежащие обработке, следует размещать в одной плоскости или делать одного диаметра.
- Заготовки следует делать такими, чтобы при их обработке можно было применить резцы, сверла и другие инструменты стандартных размеров.

В методах DFA и DFM применяются повседневные единицы (секунды, доллары) и простые критерии, за счет чего конструкторам проще оценивать различные варианты конструкции и методы сборки и быстро определять стоимость производства и затраты времени.

Как DFMA применяется в АББ

Иногда бывает так, что типовое изделие какой-либо компании характеризуется следующими парами: функциональное, но сложное; надежное, но завышенного габарита; высокого качества, но дорогое. Часто оно превосходит требования потребителей на развивающемся рынке (и поэтому уступает более дешевым изделиям конкурентов). Решением этой проблемы является упрощение конструкции изделия, поскольку, прямо говоря, «простота окупается».

3 DFM: рекомендации по процессу механообработки



Технологии производства

В компании АББ можно найти многочисленные примеры тому, как правильный подход к проектированию, при котором были учтены условия производства и сборки, не только позволял существенно повысить качество, но и снизить затраты. Одним из таких примеров может послужить пассивный индикатор напряжения PVI производства АББ. Метод DFMA был с успехом применен на самой ранней стадии проектирования, т.е. при эскизном проектировании. В результате удалось уменьшить необходимое число деталей с 11 до 7, что, в свою очередь, привело к снижению стоимости и сокращению времени изготовления (рис. 4).

Другой пример связан с переработкой конструкции высоковольтного трансформатора тока TPU производства АББ, которую необходимо было упростить для снижения себестоимости производства. Применение метода DFMA вместе с рядом новых методов конструирования позволило разработать новую конструкцию и открыть новые возможности по производству этого известного и стандартного изделия АББ (рис. 5).

Прочие примеры применения DFMA связаны с перепроектированием для мирового рынка

таких изделий, как разъединители с открытым предохранителем NCX для Китая, новые датчики пламени, разработанные в США и Италии, а также перепроектированием распылителей, производимых в Японии.

При перепроектировании разъединителей NCX, с целью изготовления конкурентоспособного недорогого изделия с помощью метода DFMA, были выявлены три направления, которые требовали внимания конструкторов: сокращение числа деталей, использование менее дорогих материалов и повышение технологичности деталей. Результатом работы стали 13 идей, объединенных в две общих концепции, которые позволили достичь сокращения затрат на 10–15%.

Заключение

От новых продуктов заказчики ожидают широких функциональных возможностей и высокого качества по разумной цене.

Способность выполнить требования заказчиков при невысокой себестоимости крайне важна для обеспечения прибыльности и конкурентоспособности на мировом рынке. В этой связи большая роль отводится принципу проектиро-

Десять заповедей DFMA

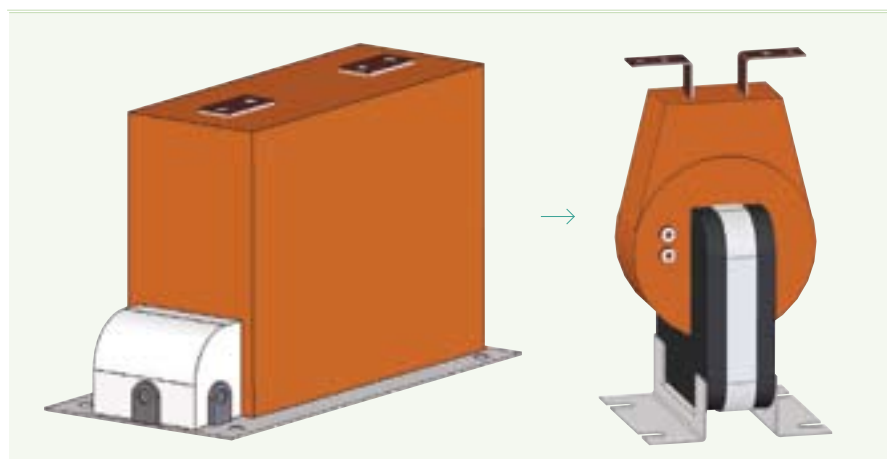
- При разработке стремись к минимальному числу деталей
- Делай детали многофункциональными
- Используй стандартные компоненты, материалы и процессы
- Разрабатывай с помощью модульного принципа
- Своди к минимуму необходимость ориентирования деталей
- Применяй метод «последовательной» сборки в одном направлении
- Упрощай установку и совмещение всех деталей
- Избегай резьбового крепежа
- Исключай регулировки
- Работай в КОМАНДЕ

вания изделий с учетом условий производства и сборки. Эта простая идеология разработки была внедрена в компании АББ и дает хорошие результаты. Успешное применение метода DFMA в нескольких проектах показало, что совместная работа над проектированием и более тесное взаимодействие между подразделениями, занятыми разработкой и производством, позволяет достичь значительного снижения себестоимости производства – на 10–15 процентов! – без каких-либо крупных капиталовложений. Командная работа и простота окупаются!

4 Пассивный индикатор напряжения PVI. При разработке на стадии эскизного проектирования применен метод DFMA



5 Трансформатор тока TPU. Стандартная конструкция (слева) и возможный недорогой вариант для мирового рынка (справа)



Томаш Новак
Марцин Хромняк
Роберт Секуля

ABB Corporate Research
Краков, Польша
tomasz.nowak@pl.abb.com
marcin.chromniak@pl.abb.com
robert.sekula@pl.abb.com

Лукас-Лю Гао

ABB Corporate Research
Пекин, КНР
lucas-lu.gao@cn.abb.com