

# Почему принимать решение о движении к аддитивному производству должен генеральный директор?

©2020 Siemens Digital Industries Software

Кому выгоден переход на аддитивное производство (АП)? Какое подразделение должно его осваивать в первую очередь, чтобы выгоду от этого получила вся компания в целом?

Это ключевой вопрос для компании, которая рассматривает частичный переход на АП и ищет потенциальными выгодами от него. При неправильном подходе даже в компании, которая готова к внедрению аддитивных технологий, начинание обречено на провал. Неверный выбор направления и технологии может привести к пустой трате средств и полному разочарованию в АП.

Важно, чтобы генеральный директор обладал знаниями в области аддитивных технологий и понимал, в каком направлении идет развитие. Именно он, стоящий над всеми подразделениями, должен оценивать, надо ли делать этот шаг. Ведь преимущества от внедрения аддитивных технологий для каждого из отделов и направлений производства будут различными, и заинтересованные подразделения не дадут им объективную оценку – как и те, что в них не заинтересованы. Между тем сложности перехода коснутся всей организации в целом.

Несмотря на название, АП не является производственной стратегией. Стратегию строит само предприятие. Поэтому лишь те, кто определяет её, способны предвидеть все возможные выгоды и варианты развития.

Когда на предприятии внедряют оборудование с ЧПУ, покупатель и пользователь хорошо знают, какую роль играют эти станки. Но 3D-принтер – это не обычный станок. Если смотреть на АП как на способ создания с нуля конструкции сложной формы, способной объединить в себе то, что в противном случае было бы множеством отдельных компонентов, то 3D-принтер – это целая цепочка поставок в одной коробке. Отсюда следует вывод: чтобы понять, как компания может реализовать возможности аддитивных технологий, необходимо мыслить нестандартно.

Опыт работы в этой области показывает, что реализовать их и получить преимущества на всём предприятии в целом возможно только при глубоком вовлечении генерального директора в процесс внедрения.

Внедрение любых технологий требует всесторонней оценки. Например, руководитель известной крупной компании проводил внедрение АП в несколько этапов. Во-первых, он пригласил конструкторов встретиться с представителями *Siemens Digital Industries Software*, чтобы те смогли понять возможности новой технологии. Затем он организовал встречу с технологами, чтобы обсудить использование новой технологии в их задачах. В обсуждение также вовлекли отдел снабжения и логистики и др.

Во-вторых, этот руководитель организовал для своих специалистов посещение центра компетенции AMEC компании *Siemens Digital Industries Software*, чтобы те смогли увидеть и оценить различные технологии АП и убедиться в том, что компания выбрала для себя наиболее подходящую.

В итоге было проведено пять различных встреч, посвященных пониманию задач АП с точки зрения пяти подразделений предприятия.

Но даже множество встреч, переговоров с поставщиками 3D-принтеров и программного обеспечения не гарантируют результат. Начиная путь к АП, компании часто имеют ошибочные представления относительно того, куда этот путь может привести, и не до конца представляют, какие выгоды могут быть получены. Они не учитывают эффекты, позволяющие получать значительную экономию сразу в нескольких областях.

Руководитель предприятия должен заранее представлять себе общую сумму экономии. Она складывается из различных компонентов. Мы рассмотрим пять основных подразделений, которые подвергаются трансформации и позволяют сделать все этапы процесса выгоднее: проектирование, производство, эксплуатация, финансы и маркетинг.

## 1 Проектирование: сокращение затрат без гнёта производственных ограничений

Аддитивное производство дает свободу смело проектировать детали с необходимой функциональностью – как это было в случае со специально разработанным для 3D-печати кронштейном сиденья автомобиля *General Motors*, который показан на рис. 1.



Рис. 1



Рис. 2

Проектирование детали при помощи функционала для топологической оптимизации с учетом точек крепления детали и требований к нагрузке позволило получить конструкцию, обладающую на 40% меньшей массой и на 20% большей прочностью, чем оригинальный кронштейн, изготовленный традиционным способом (рис. 2).

При проектировании этого кронштейна было отработано множество вариантов конструкции, что позволило выбрать оптимальное решение (рис. 3).

Визитная карточка АП – это возможность усложнить конструкцию бесплатно. Самое мощное преимущество АП для конструктора – это свобода создавать сложные формы: органическую форму, решетчатую форму для экономии веса или материала, форму с тщательно продуманными внутренними переходами или единую сложную деталь, которая заменяет то, что при производстве по классической технологии должно быть сборкой.

Однако аддитивные технологии предоставляют не только “бесплатную сложность”, но и

свободу проектирования. Инженеры-конструкторы, использующие АП, могут свободно дорабатывать и оптимизировать новый дизайн всеми возможными способами в поисках более дешевого и более эффективного изделия. Другие производственные процессы не предлагают такую же гибкость и свободу.

Практически любой инженер-конструктор, кроме тех, кто получил образование совсем недавно, при проектировании работает с оглядкой на концепцию “технологичность конструкции”. Возможности производственных процессов всегда накладывали ограничения, и конструкторы знали и помнили об этом. Самая распространенная претензия производителей к конструкторам – несоблюдение этих ограничений. Однако АП разрушает эту систему ограничений и становится первым производственным процессом, устанавливающим минимум рамок, связанных с геометрией детали.

Вместо того чтобы проектировать с технологическими ограничениями, АП позволяет создавать функциональность. Это ключевое изменение в подходе к проектированию, которое в производстве еще только пытаются осознать.

Приведенный на рис. 4 пример – сконструированный с помощью программных средств генеративного дизайна кронштейн сиденья *General Motors* – иллюстрирует, как может сработать это изменение. Сложная форма кронштейна была усовершенствована, чтобы уменьшить вес и объединить восемь отдельных компонентов в одну 3D-печатную деталь. Сколько итераций понадобилось конструкторам, чтобы добраться до этой почти оптимальной формы? Они сгенерировали 150 вариантов, остановившись на одном с правильным сочетанием массы и технологичности.

Если бы пришлось использовать традиционные производственные технологии, такой результат был бы недостижим. Через несколько итераций проект пришел бы к точке, где ограничения, накладываемые штамповкой, механической обработкой,



Рис. 3



Рис. 4

сборкой или каким-то другим процессом не позволили бы вносить никаких изменений. Дальнейшее усовершенствование формы сделало бы изделие слишком сложным и, как следствие, чрезмерно дорогим. Таким образом, ограничения технологий, определяющие конструкцию, фиксируют пределы функциональности изделия и его стоимость.

Когда инженер-конструктор знает, что деталь будет изготавливаться аддитивным способом, он должен направить усилия на совершенствование формы изделия и оптимизацию конструкции для экономии материала, минимизации массы и производственных затрат. Несколько дней такой работы конструктора могут принести экономию, которая будет сохраняться в течение всего периода производства. Именно так аддитивные технологии позволяют инженеру-конструктору еще на стадии проектирования обеспечить максимальную экономию средств компании в дальнейшем.

## 2 Производство: экономия места и времени

Оборудование для аддитивного производства не занимает много места; при этом, установив одну машину, вы можете заменить несколько этапов в производственной цепочке.

Подразделение *Siemens Gas & Power* методом 3D-печати серийно изготавливает горелки газовой турбины (рис. 5).

При внедрении 3D-печати в серийное производство были получены следующие результаты:

- количество компонентов сборки уменьшилось с 13 деталей до одной;
- время изготовления сократилось с 26 недель до трех;
- масса детали уменьшилась на 22%.

В ходе испытаний производительности горелка, изготовленная по технологии АП, продемонстрировала показатели функциональности и долговечности, значительно превышающие параметры изделия, изготовленного по традиционной технологии.



Рис. 5

Классическое производство требует больших производственных площадей. Раньше считалось, что это единственно правильный путь. Но почему потребность в производственных площадях настолько велика? В первую очередь потому, что производство состоит из множества этапов. Так, свои производственные площади нужны для литейного цеха, механической обработки, сборки, изготовления оснастки и т.д. В итоге вся технологическая цепочка может охватывать несколько производственных площадок.

При этом для выпуска больших объемов продукции часто требуется размещение производства в удаленных местах. Цепочка поставок, учитывающая объемы, достаточно сложна, поэтому, если весь набор поставщиков способен выполнить поставку в срок, разумно будет использовать эту проверенную систему, позволяя ей делать немного больше, чем необходимо, а не пытаться создать такую же сложную систему с оптимизацией в другом месте. Если зарубежный субподрядчик может выполнить большую часть работы недорого и доставить созданную продукцию поставщику второго уровня, сделав следующий шаг, то пусть такая система продолжает работать!

Поскольку применение аддитивных технологий позволяет значительно сократить производственные площади и количество техпроцессов, необходимость расширения производства отпадает. Для 3D-печатных компонентов не требуется литейный цех, значительно уменьшается потребность в механической обработке и, как правило, не нужны сборочные операции. Другими словами, несколько различных этапов производства выполняются внутри одной аддитивной установки.

Инженерно-производственная фирма, работающая в гоночной индустрии, напечатала алюминиевый блок цилиндров, показанный на рис. 6. Испытания показали, что по функциональности и долговечности он эквивалентен “обычному” блоку, изготовленному литьем.

Но экономия распространяется еще дальше. Для аддитивного производства не нужно



Рис. 6

изготавливать и хранить оснастку, а отсутствие необходимости вложений в специализированные инструменты делает короткие производственные циклы и массовое производство изделия гораздо более экономичными.

Небольшое производство, технологическая цепочка, сжатая практически в одну машину, – всё это имеет значение и для логистики. Потенциально стоимость логистики как компонента производства значительно уменьшается. Это также влияет и на местоположение производства: оно больше не должно обязательно находиться в местах, которые мы связываем с промышленностью сегодня. Производственный процесс, основанный на аддитивных технологиях, настолько прост, что может быть воспроизведен в любом месте, куда вы сможете доставить электричество и сотрудников.

Таким образом, небольшие производственные площадки могут располагаться рядом с обслуживаемыми ими рынками, что еще больше снижает стоимость логистики. Единственными ресурсами, необходимыми для функционирования этих многочисленных распределенных производственных площадок одной организации, являются цифровые модели деталей, которые будут выпускаться этими небольшими филиалами.

### 3 Эксплуатация: АП эффективно там, где используется

АП может помочь избежать технологических операций, которые неизбежно повышают себестоимость изделия. Так, например, один производитель систем промышленной автоматизации переработал пневматический захват, чтобы сделать его более простым и легким, не снижая прочности (рис. 7). Предыдущая конструкция захвата включала алюминиевые компоненты, крепеж и трубки – всего 21 деталь. Объединение этих компонентов и возможность печати на 3D-принтере позволили создать новую конструкцию, состоящую всего из двух компонентов.

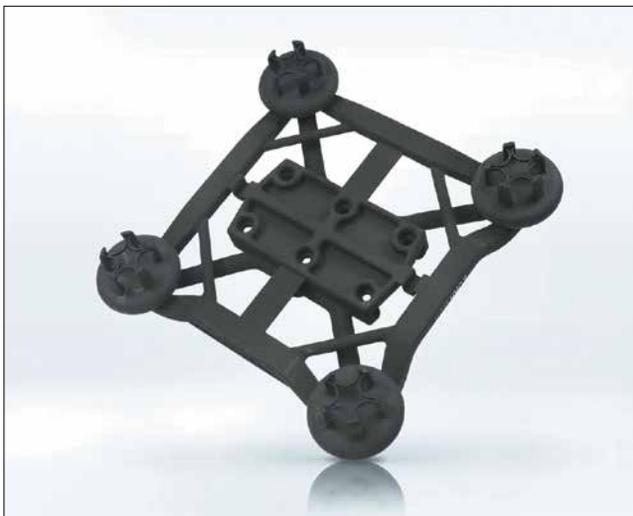


Рис. 7

Стандартная цепочка поставок, соединяющая традиционные этапы, делает сегодня довольно сложной работу диспетчера производства: управление последовательностью запуска. Однако внедрение АП позволит значительно сократить количество операций и, как следствие, снизить издержки от операционных расходов.

Предварительная и постобработка сохраняются, поэтому аддитивное производство остается последовательностью ряда шагов. Однако аддитивная технология значительно упрощает фактическую обработку, сводит её до минимума. Заготовка не должна проходить через серию этапов обработки, после которых изготовленная деталь поступает на этап сборки. Во многих случаях вся работа выполняется за одну операцию и в одном месте.

Экономия может быть разносторонней, и она выявляется в тех областях, о которых осведомлен только руководитель подразделения. АП требует меньше постобработки, меньше промежуточных техпроцессов и меньше запасов.

Если целью бережливого производства является устранение этапов, не связанных с добавленной стоимостью, то АП потенциально позволяет достичь экономии более эффективно, чем перестройка предприятия без изменения этапов производства. И если модернизация производства направлена на объединение этапов изготовления и сборки компонентов в одном пространстве, то АП поможет достичь этой цели более эффективно, чем любой другой метод.

### 4 Финансы: целесообразность АП при небольших объемах производства

Бюджетная составляющая традиционного производства – это амортизация. Практически любой запуск нового изделия требует значительных первоначальных затрат. Допустим, необходима технологическая оснастка – пресс-формы или штампы. Их весьма высокая стоимость окупается лишь в том случае, если объем производства достаточно большой, чтобы окупить первоначальные затраты. Например, стоимость пресс-формы для переднего бампера автомобиля может превышать миллион долларов.

Традиционное производство требует больших капиталовложений для запуска партии новых изделий, поскольку существующие станки, как правило, должны быть дополнены новыми инструментами и оснасткой, специализированными для данной работы. Но в случае АП существующего оборудования будет достаточно, чтобы начать работу над совершенно новым изделием без какого-либо специального оснащения и дополнительного капиталовложения.

В результате производство в гораздо меньших объемах становится экономически эффективным. Это преимущество особенно ценно при запуске нового продукта. Низкая капиталоемкость АП означает, что продукт, изготовленный таким образом, может быть запущен с большей выгодой при меньшей величине партии и с меньшими начальными

продажами. Представьте себе запуск такого продукта, как автомобиль. При обычном производстве, возможно, потребуется выпускать миллион автомобилей в год для покрытия расходов. При АП и отсутствии первоначальных затрат это количество может составлять порядка 20 000 экземпляров.

При этом оснастка – не единственная статья экономии. Другие её источники включают в себя сокращение производственных площадей из-за объединения операций, о котором говорилось выше, а также сокращение незавершенного производства и сокращение запасов, поскольку появляется возможность эффективно производить небольшие партии вместо больших. Это распространяется и на запчасти, так как аддитивные технологии позволяют легко производить их по мере необходимости.

Легко проиллюстрировать это на примере запуска в производство автономного автомобиля. Затраты на АП легче всего окупить, когда есть новый продукт, для которого не существует никаких предыдущих производственных инвестиций. В случае с переводом на рельсы АП уже выпускавшегося продукта происходит перепрофилирование производства под аддитивные технологии, и затраты на них плюсятся к уже существующим – это значительно усложняет обоснование внедрения АП на предприятии. Поэтому наиболее эффективно внедрение аддитивных технологий происходит там, где начинается производство совершенно новых изделий: это, например, передовые автономные решения в автомобильной промышленности. В числе других областей можно назвать частные компании в авиакосмической отрасли и производителей специальных имплантов в медицине.

Всегда, когда изделие является настолько новым для изготовителя, что не существует готового предприятия или производственной линии, подходящих для его производства, это открывает возможность с самого начала эффективно внедрить аддитивные технологии.

## 5 Маркетинг: экологичность как свойство АП

Аддитивное производство является неотъемлемой частью современного подхода к производству с низким уровнем выделения углекислого газа, что обеспечивает экологические выгоды.

В ходе исследования *Airbus* сравнивались шарнирные кронштейны гондол самолетов, изготовленные литьем из стали, с напечатанной из титана конструкцией с оптимизированной топологией, а также измерялись различия в использовании ресурсов и воздействии на окружающую среду (рис. 8). Выяснилось, что для изготовления “аддитивной” детали требуется на 75% меньше материала, а уменьшение её массы приводит к сокращению выбросов углекислого газа на 40% в течение срока службы детали.

Эта часть выгоды от внедрения АП может показаться незначительной. Однако для публичной компании экологичность действительно дает значимое преимущество. Производство, которое в

соответствии с заявленными принципами компании бережно относится к природной среде и потреблению ресурсов, является еще одной областью положительного влияния АП, вполне соизмеримой с другими областями экономии.

Аддитивный подход по своей сути является путем к производству с низким уровнем выбросов углекислого газа. Это происходит не только потому, что несколько традиционных производственных операций объединяются в одну, но и благодаря сокращению транспортных расходов: когда нет отдельных производственных площадок, то нет и необходимости перемещать заготовки и детали между ними.

Заявление о том, что процесс АП характеризуется низким энергопотреблением, на первый взгляд может показаться сомнительным: ведь агрегатное состояние металла меняется от порошка к расплаву. Тем не менее, единичная энергия, необходимая для обеспечения послойного аддитивного процесса, включая плавление, меньше, чем единичная энергия, необходимая для механического резания. К этому добавляется вся экономия энергии на тех этапах производства, выполнять которые больше не нужно.

Кроме того, благодаря свободе проектирования и средствам оптимизации, детали для АП отличаются меньшим расходом материала. С самого начала они проектируются с учетом этого критерия, а оптимальная форма разработанной детали означает, что меньше материала теряется при окончательной обработке.

Производственный процесс, основанный на аддитивных технологиях, позволяет конструкторам компании создавать такие изделия, которые будут легче, а их изготовление будет энерго- и ресурсоэффективнее, чем когда-либо прежде. Более экологичным становится не только само производство, но и сами изделия. Таким образом, АП помогает компаниям и даже потребителям продуктов этих компаний жить в соответствии со своими экологическими ценностями. 🌱



Рис. 8