

Возможности аддитивных технологий столь обширны и революционны, что зачастую мы не в состоянии их осознать, оценить пользу их применения и широту открывающейся перспективы. Но уже в скором времени эти технологии перевернут большую часть наших представлений о том, как нужно и должно конструировать и изготавливать...

Конвергенция методов обработки металлов резанием и 3D-печати, которую воочию наблюдал наш коллега Peter Zelinski в небольшой американской компании, произвела на него сильное впечатление и воодушевила на подготовку этого материала. Хотелось бы надеяться, что главные конструкторы и главные технологи российских предприятий уже в курсе грядущего наступления новой эры в производстве.

Статья "Does Additive Manufacturing Make Sense in a 'Subtractive' Machine Shop" была опубликована в сетевом журнале "Additive Manufacturing", выпускаемом компанией Gardner Business Media. Оригинал на английском языке можно найти по ссылке: [www.additivemanufacturing.media/articles/does-additive-manufacturing-make-sense-in-a-subtractive-machine-shop](http://www.additivemanufacturing.media/articles/does-additive-manufacturing-make-sense-in-a-subtractive-machine-shop)

## Нужны ли аддитивные технологии в "субтрактивном" цехе?

Peter Zelinski, главный редактор Additive Manufacturing

©2017 Gardner Business Media



Peter Zelinski является многолетним редактором, колумнистом и корреспондентом "Modern Machine Shop" ([www.mmsonline.com](http://www.mmsonline.com)) – известного в Северной Америке издания, освещающего и популяризирующего достижения в сфере промышленной металлообработки с использованием оборудования с ЧПУ. Кроме того, он приложил руку к запуску и возглавил редакцию "Additive Manufacturing" ([www.additivemanufacturing.media](http://www.additivemanufacturing.media)) – нового журнала, посвященного применению технологий 3D-печати в производстве ответственных функциональных деталей.

Peter Zelinski окончил университет Цинциннати, где и получил степень бакалавра в машиностроении.

Определенно – да, отвечает расположенная в федеральном округе Колумбия (шт. Нью-Джерси) компания **Imperial Machine & Tools**, которая специализируется на механообработке на оборудовании с ЧПУ. Полученная аддитивным способом деталь почти всегда требует дальнейшей обработки, и хороший механический цех – это, пожалуй, лучшее место для реализации обещаний аддитивного производства (*Additive Manufacturing – AM*).

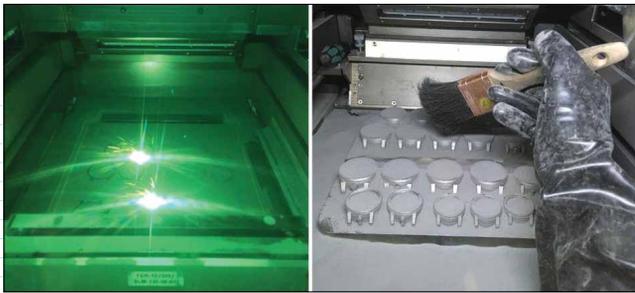


Напечатанные на 3D-принтере металлические детали передаются на механический участок для их удаления с монтажной плиты при помощи точной распиловки



Christian Joest – правнук основателя компании Imperial Machine & Tools. Рядом с ним находится, наверное, самое примечательное оборудование цеха – две машины селективного лазерного наплавления (SLM)

**Chris Joest** является президентом Imperial Machine & Tool и её владельцем уже в третьем поколении. Он видит большой потенциал аддитивного производства: "Посетите любой промышленный концерн нашего штата – и наверняка найдете, что по меньшей мере 5% всех обрабатываемых деталей можно было бы



*Аддитивное производство в действии: эти SLM-детали представляют собой титановые корпуса наручных часов. (Многие заказы, которые выполняет компания Imperial, являются конфиденциальными, поэтому показать их мы не можем)*

изготовить более эффективно, используя аддитивные технологии”.

Тем не менее, его мастерская не заинтересована в этих 5% – по крайней мере, пока.

Четыре года тому назад эта компания, в которой работает 40 сотрудников, увеличила свои производственные мощности, добавив АМ-оборудование – в том числе, для селективного лазерного наплавления (*Selective Laser Melting – SLM*). Сегодня *Imperial* использует две машины от *SLM Solutions* для наплавления металлического порошка.

Такое оборудование и его возможности пока еще не являются обыденными в сфере деятельности, к которой относится компания, так что *Imperial* пользуется фактором опережения для поиска таких задач, которые дают существенную выгоду от реинжиниринга конструкций – чтобы можно было в полной мере использовать ту свободу проектирования, которую обеспечивает аддитивное производство.

“Мы ищем такие сферы применения наших возможностей, которые позволяют нам сказать



*Прежде это была плита с просверленными отверстиями для охлаждения. Переход на 3D-печать детали в виде плетеной структуры каналов охлаждения позволил устранить ненужный материал и уменьшить массу. Сама деталь запатентована разработчиком, но дополнительные элементы для её фиксации при дальнейшей механообработке разработала команда Imperial*

своим клиентам: “Мы можем потрясти ваше представление о мире!” – говорит м-р *Joest*.

Поэтому вместо привлечения тех клиентов, у которых для аддитивного производства подходят 5% деталей, компания *Imperial* добивается успеха, обслуживая тех, у которых этим способом можно улучшить, к примеру, 80% деталей.

Однажды я уже писал про компанию *Imperial* – вскоре после того, как они установили свой первый SLM-станок. Та статья называлась “Кривая накопления опыта” – фраза, описывающая состояние мастерской, осваивающей аддитивное производство. С тех пор они приобрели второй такой станок и значительно продвинулись по самой крутой части этой кривой. Аддитивные работы теперь обеспечивают 5% их продаж, то есть достаточно заметную долю дохода, хотя основную часть бизнеса по-прежнему составляет традиционная обработка.

Таким образом, *Imperial* сегодня служит наглядной иллюстрацией практического освоения АМ и примером для других мастерских, которые, вероятно, захотят попробовать у себя, как можно совместно использовать аддитивные технологии и обработку на станках с ЧПУ в качестве двух обычных составляющих процесса производства. В компании *Imperial* команды сотрудников, которые занимаются этими составляющими, работают вместе, чтобы для каждой 3D-печатной работы продумать такую стратегию, которая наилучшим образом позволит использовать возможности обеих.

### Аддитивность в субтрактивной мастерской

Сегодня *Imperial* представляет собой семейный бизнес фактически уже в четвертом поколении, поскольку Кристиан – сын Криса, нынешнего владельца – тоже является одним из руководителей компании. Под знамена аддитивности эти двое встали, следуя традиции



*Chris Joest, владелец и президент Imperial Machine & Tools, интегрировал аддитивные технологии в общие процессы цеха. Требования последующей обработки учитываются еще на стадии планирования 3D-печатной работы*

[новаторства]. В 1950-х дед Криса – учредитель компании *Imperial* – добился конкурентного преимущества, инвестировав средства в прецизионные координатно-расточные станки. Отец Криса одним из первых стал использовать оборудование с ЧПУ. Развитие аддитивных возможностей – очередной логичный шаг на этом пути, и Крис уверен, что его дед был бы в восторге, увидев, какие детали можно создать с помощью аддитивных технологий.

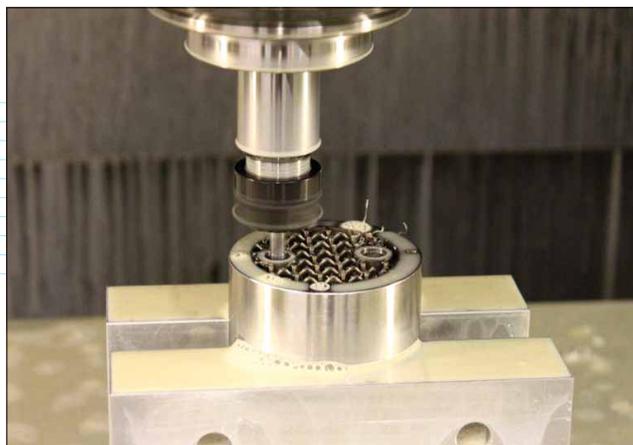
Но есть ли смысл для обычного “субтрактивного” производителя – цеха механической обработки – осваивать аддитивные возможности? М-р *Joest* считает, что в этом намного больше смысла, чем в альтернативном варианте, когда на аддитивном и на субтрактивном производствах специализируются разные компании. По его мнению, механообработка и АМ идут рука об руку, потому что к важным деталям, изготовленным аддитивным способом, обычно предъявляются такие требования в отношении точности, обеспечить которые можно только механообработкой.

Кроме того, здесь нужны знания и опыт. Такая механическая мастерская, как *Imperial*, которая обслуживает определенных клиентов и определенные секторы многие годы, уже обладает знаниями и пользуется доверием в данном контексте, что непосредственно сказывается на успешности в сфере АМ. Если у компании есть 3D-принтер, это еще не значит, что она укомплектована всем нужным оборудованием и готова применять 3D-печать для промышленного производства.

Фактически, пример *Imperial* показывает, почему для небольших компаний имеет смысл заниматься аддитивным производством.



*Перепроектирование деталей с учетом возможностей аддитивного производства часто означает замену ненужных сплошных объемов на ячеистые структуры. В данном случае замена сплошной детали, в которой высверливались сквозные каналы, на 3D-печатную позволила уменьшить её массу почти вдвое*



*Пример сотрудничества науки и промышленности: эта деталь спроектирована и изготовлена аддитивным методом в Центре инновационных технологий работы с металлом (CIMP-3D) Пенсильванского университета. В компанию *Imperial* её передали для прецизионной токарно-фрезерной обработки и нарезания резьбы*

Размер *Imperial* достаточен для того, чтобы инвестировать в АМ, но в то же время достаточно мал, чтобы компания была гибкой в поиске и привлечении клиентов, чье представление о мире можно потрясти, говоря словами м-ра *Joest*. Кроме того, *Imperial* принадлежит узкой группе лиц, что позволяет сохранять твердость намерений и терпение, ожидая успехов в материализации потенциала АМ, которые редко приходят быстро. Одна из причин, влияющих на неопределенность в отношении прибыльности, заключается в том, что сегодня аддитивным способом изготавливаются детали, которые были спроектированы под другие производственные процессы. Запрос на АМ возникнет и станет расти тогда, когда инженеры один за другим начнут осознавать геометрическую свободу, которую предоставляют аддитивные технологии, и станут создавать новые детали, используя эту свободу.

### **Описания туманны – прошу извинить**

Какие детали производит компания *Imperial*? Какие примеры наилучшим образом характеризуют пользу от перепроектирования с учетом технологий АМ?

Этого я вам показать не могу. На самом деле я не могу даже описать их с достаточной степенью детализации, потому что обещал этого не делать. Изделия, которые я недавно видел в цехе *Imperial*, представляют большую ценность для их разработчиков, поэтому любые подробности о них носят конфиденциальный характер. Тем не менее, даже достаточно расплывчатое описание может помочь вам представить работу цеха и преимущества, которые получают заказчики. Вот некоторые примеры

важнейших компонентов, которые компания изготавливала с помощью *SLM*:

### ✓ **Высокотемпературное оборудование**

Речь идет о компонентах такого оборудования, которые позволяют достигать в производственном процессе более высоких температур, чем это возможно сейчас. Благодаря *3D*-печати, громоздкий массив охлаждающих каналов органически врос в форму детали, что обеспечит скачок допустимой температуры. Раньше охлаждение этой детали осуществлялось с помощью набора наружных трубок, приваренных друг к другу. Перенос охлаждающих элементов внутрь компонента (теперь они представляют собой внутренние змеевидные каналы, которые невозможно получить сверлением) позволит использовать при его эксплуатации более высокие температуры, что даст на выходе совершенно другой класс конечного изделия. Кроме того, теперь этот компонент изготавливается в виде одной детали, без сборочных работ (приварки трубок), что приводит к существенному ускорению производственного процесса. Упростился процесс совершенствования детали, так как инженер, участвующий в проекте, может подкорректировать форму и увидеть появление этих изменений уже в следующей версии *3D*-печатной детали. Когда эту деталь начнут производить серийно, говорит м-р *Joest*, цеху понадобятся четыре машины для наплавления металлического порошка.

### ✓ **Охлаждающий массив**

У другого компонента с измененной для *AM*-процесса конструкцией не только повысилась эффективность охлаждения, но и уменьшилась масса. Температурный контроль сенсорной системы в сложном устройстве военного

назначения раньше осуществлялся с помощью опорной плиты с просверленными отверстиями для подачи охлаждающей жидкости. Теперь же, как и в предыдущем примере, аддитивным способом формируется массив изогнутых каналов, по которым охлаждающая субстанция доставляется точно в то место, которое необходимо охладить. Кроме того, плита стала намного меньше. *3D*-печатный массив каналов стоит отдельно – как единая легкая деталь сложной формы, что устраняет необходимости в той части плиты, которая прежде давала дополнительную массу. Этот заказ достался компании вследствие того, что инженер, вовлеченный в проект, узнал о возможностях аддитивного производства от своего коллеги, который уже сотрудничал с *Imperial*, работая над другим компонентом. М-р *Joest* говорит, что сарафанное радио остается лучшим способом для пропаганды *AM*, так как один успех создает благоприятную возможность для достижения последующих успехов в той же организации.

### ✓ **Конвергенция конструктивных элементов, возможностей оборудования и опыта**

Еще один компонент с измененной для *AM* конструкцией включает в себя десятки сопел, отходящих от детали под разными углами, но направленных в одну точку фокусировки. Целевое использование этой детали м-р *Joest* и персонал компании представляют слабо – их только попросили поучаствовать в её улучшении при помощи *AM*.

В первоначальном варианте это была сборка: в теле детали под разными углами сверлились отверстия, в которые затем ввинчивались сопла. Вариант под *3D*-печать позволил отказаться от сборки, но не устранил необходимость в многоосевой обработке. Фактически, обработка стала более сложной, поскольку для того, чтобы уложиться в требуемые допуски, надо обрабатывать под разными углами все внешние формы *3D*-печатных сопел. Поэтому результат стал общим успехом – не только тех сотрудников, кто занимается аддитивным производством, но и тех, кто обеспечил 5-осевую обработку. Опытные станочники участвовали в обсуждении с самого начала, и это непосредственно повлияло на изменения в конструкции. Минимальный зазор, который они могли использовать при 5-осевой обработке, определил минимальное расстояние между соплами.

М-р *Joest* говорит, что сотрудничество участка *AM* и участков механообработки не является необычным делом для таких работ – скорее это обычная практика изготовления сложных деталей.

Что же касается детали с соплами, то необычным был объем обсуждений (разработка конструкции и процесса заняла несколько



*Для обеспечения совместимости при работе на разном оборудовании в цехе Imperial давно используются одинаковые шаблоны крепежных отверстий. Когда к аддитивно изготавливаемой детали добавляют дополнительные элементы для её фиксации при дальнейшей обработке, это тоже делается в соответствии с шаблонами*

дней), а не факт обсуждения сам по себе. В большинстве случаев процессы аддитивно-производства необходимо согласовывать с другими операциями. Это означает, что перед тем, как утвердить финальный вариант конструкции и начать 3D-печать, необходимо продумать и предусмотреть остальные операции. Понимая это, компания *Imperial* интегрировала аддитивную составляющую в общий производственный процесс мастерской, и теперь у них аддитивное производство является не чем-то особенным и обособленным, а равноправным участком, обеспечивающим общий успех работ наряду с другими.

## Согласование требований

Сегодня аддитивное производство в компании *Imperial* имеет статус “рабочего центра”. Это внутренний термин компании, который можно понимать как “участок”. Другие рабочие участки: вертикально-фрезерных станков, горизонтально-фрезерных станков, токарный, листового металла, сборочный, контроля качества. В компании давно заведено, что члены команды, представляющие каждый участок соответствующей работы, собираются вместе, чтобы обсудить её выполнение. Как правило, один рабочий участок должен подстраиваться под требования другого. Особенно сильно могут влиять на обработку требования участка сборки и ОТК. Теперь наравне с остальными



*Относится ли аддитивное производство к бизнесу механообработки? Владельцы Imperial уверены, что этот бизнес – идеальное место для проявления возможностей AM. Эти компании понимают, какое качество необходимо, и уже почти все важные металлические детали изготавливаются аддитивным способом с дальнейшей дообработкой соответствующих элементов. К примеру, для этой 3D-печатной детали критическим фактором является плоскостность верхней поверхности*

в обсуждении участвует и участок аддитивных машин, и зачастую им приходится считаться с тем, что требуется коллегам.

Однако возможности аддитивных технологий привносят в эти обсуждения свободу, которая может устранить какие-то ограничения для других этапов. К примеру, при использовании 3D-печати отверстия не обязательно должны быть круглыми [и цилиндрическими] – деталь можно растить с отверстиями любого поперечного профиля, который нужен. Это маленькое изменение может показаться простым, но тем, кто работает давно, бывает непросто отказаться от привычного представления, что любой сквозной проход в детали должен быть прямым, круглого сечения, изготавливаемым путем сверления. Поэтому одним из первых вкладов персонала, знакомого с методами аддитивного производства, в общее дело может стать помощь другим в переоценке того, какие конструктивные элементы детали действительно требуют машинной обработки, должны ли они обязательно быть сплошным твердым телом и иметь простые геометрические формы. Например, в некоторых случаях часть сплошного объема может быть заменена ячеистой структурой или вообще отсутствовать.

Обычная уступка, которую делает участок AM: добавить на печатаемой детали материал для последующей обработки. Идеальная конструкция детали может отказаться от всего металла, который не является совершенно необходимым для выполнения деталию своих функций, но производственная – нет. Для обеспечения требуемой точности обязательно нужно предусмотреть припуск на дальнейшую мехобработку. Кроме того, нужен и материал для фиксации детали на рабочем столе обрабатывающего центра.

Характерным признаком включения аддитивных технологий в общий производственный процесс компании *Imperial Machine & Tool* можно назвать следующее: добавочные части печатаемых деталей соответствуют тем же общим требованиям в отношении крепежа и технологической оснастки, что установлены для всех деталей. Дело в том, что для эффективности наладки и обеспечения взаимозаменяемости станков, столы всех вертикальных обрабатывающих центров в *Imperial* имеют одинаковые шаблоны крепежных отверстий. Все приспособления для механообработки всегда проектируются под этот шаблон. Такова обычная практика, которая применяется уже давно. Теперь это правило распространяется и на 3D-печать. Когда SLM-детали выращиваются с дополнительными элементами для фиксации при мехобработке, то отверстия в них точно соответствуют общему шаблону крепежных отверстий, принятому в компании *Imperial*. 🧐