

## Компания *Siemens* организовала аддитивное производство металлических деталей в городе Финспонг

*Aaron Frankel, Ashley Eckhoff (подразделение Manufacturing Engineering Software компании Siemens PLM Software)*

**Ф**инспонг (*Finspång*) – город с многовековой историей на берегу озера Скутбешен в Швеции. Центром промышленного производства он стал еще в XVI веке, когда местные фабрики начали выпускать пушки и ядра для шведской армии. И в 2018 году экономика Финспонга остается индустриально ориентированной: в городе работает несколько металлообрабатывающих заводов и предприятие по выпуску газовых турбин. Именно на производстве газовых турбин в этом маленьком городке в 180 км к юго-западу от Стокгольма сегодня создается будущее – причем, по аддитивной технологии. Основным работодателем во всей отрасли и в регионе является компания *Siemens*, выпускающая газовые турбины на самом современном предприятии города.

Чтобы понять, почему эти инновации появились именно в Финспонге, снова обратимся к истории города. Выпуск пушек продолжался здесь почти четыре века, и к 1890-м годам стал основной отраслью промышленности города. Последнюю пушку в Финспонге изготовили в 1911 году. В 1913 году город вступил в современную индустриальную эру, начав производство турбин. В 1955 году произошел переход к выпуску газовых турбин, а к 1980-м годам производимые в городе газовые турбины средней мощности (от 15 до 60 МВт) уже нашли самое широкое применение при строительстве новых и модернизации существующих электростанций.

Новое тысячелетие принесло на завод значительные перемены. В 2008 году концерн *Siemens* начал исследования в области аддитивного производства с целью ускорить инновации при выпуске газовых турбин. С развитием технологий завод в Финспонге превратился в настоящий инновационный центр *Siemens* в сфере аддитивного производства.

Компания *Siemens* начала использовать станки для 3D-печати из металлического порошка на заводе компании *EOS GmbH* в Германии в 2009 году. Руководитель группы в Центре компетенций аддитивного производства в Финспонге **Андреас Грейчен** (*Andreas Graichen*) вспоминает в этой связи, что сначала его сотрудники были уверены: новые материалы и технологии позволят изготовить всё, что угодно.

“Это оказалось не совсем так”, – отмечает он. – “Инженеры быстро осознали, что для раскрытия полного потенциала аддитивных технологий предстоит еще много работы”.

Со временем специалисты компании выяснили, что новая технология идеально подходит для изготовления как новых деталей, так и запасных

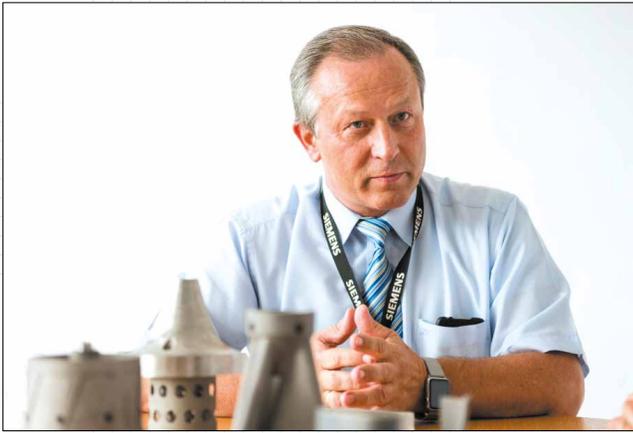


частей. То, что они стоят на пороге новой эры, заводские инженеры поняли в 2012 году, когда им удалось создать новый станок, специально предназначенный для ремонта камер сгорания. Два года спустя был открыт Центр развития компетенций в области аддитивного производства, продолживший работу по дигитализации (цифровизации) технологий быстрого проектирования, изготовления и ремонта изделий. Наконец, в 2016 году был пущен специализированный автоматизированный участок с восемью новыми станками для аддитивного производства.

Сегодня на заводе работает свыше 2600 человек. Пятьдесят из них занимаются только аддитивным производством. Предприятие производит высокоэффективные и надежные газовые турбины мирового уровня, причем 95% продукции идет на экспорт.

На заводе имеется отдел проектирования газовых турбин, испытательный стенд, самое современное





технологическое оборудование для серийного производства и подразделение технического обслуживания, в котором анализируются сведения об эксплуатации выпущенных изделий.

“Прелесть Финспонга заключается в том, что здесь имеется всё необходимое для проектирования, изготовления, испытаний и послепродажной поддержки изделий”, — отмечает **Владимир Навроцкий**, менеджер по технологиям и инновациям подразделения *Siemens Service Distributed Generation and Oil and Gas*.

### Горелка камеры сгорания

Горелка камеры сгорания — важнейший элемент газовой турбины. Именно её конструкция определяет эффективность работы и уровень вредных выбросов. Динамичное развитие технологий создает идеальные условия для революционных перемен в этой области в ходе дигитализации.

При разработке газовой турбины в конструкцию может вноситься множество изменений. Однако каждое такое изменение оказывается крайне затратным, поэтому число циклов проектирования обычно не превышает двух-трех. При традиционных способах производства внесение изменений в конструкцию требует изготовления дорогостоящих литейных форм и отливок из не менее дорогих материалов, а сроки подготовки производства оказываются очень большими.

Потребность в сокращении сроков подготовки производства, снижении себестоимости и числа операций при проектировании вызывает необходимость дигитализации и внедрения аддитивных технологий при изготовлении турбин.

### Первые годы: от быстрого изготовления опытных образцов — к производству запчастей на заказ

Сегодня аддитивные технологии (АТ) стали неотъемлемой частью процесса разработки изделий в компании *Siemens*. Они применяются при изготовлении опытных образцов, проведении испытаний и выборе материалов будущих изделий. Завод в Финспонге — крупнейшее в мире подразделение *Siemens*, использующее систему *NX* для поддержки

процессов аддитивного производства. Здесь установлены сотни рабочих мест *NX*.

Первоначально инженеры предприятия стали применять аддитивные технологии для быстрого изготовления натуральных опытных образцов, пригодных для испытаний и оценки проектных решений. Как уже упоминалось, создание деталей и узлов турбины традиционными методами — процесс крайне сложный и длительный. Наши инженеры рассматривали АТ как способ сокращения сроков и затрат на испытания деталей и проверку новых конструкций.

Уже тогда завод тесно сотрудничал с компанией *EOS*, поставившей оборудование для аддитивного производства, и сегодня предприятие в основном использует технологию лазерного спекания слоев порошка (*LPBF*) и станки, производимые *EOS*. Первыми завод закупил станки модели *EOS M270*, позволившие на основе конструкторской цифровой модели быстро изготавливать прототипы для испытаний и контроля.

### С чего начались инновации: ремонт наконечника горелки при помощи аддитивных технологий

Через определенный срок после установки горелки и ввода газовой турбины в эксплуатацию, наконечник горелки, подверженный действию экстремально высоких температур, начинает разрушаться. Новые горелки стоят очень дорого, поэтому в качестве более дешевой альтернативы компания *Siemens* решила организовать ремонт и повторную сертификацию горелок.

До этого на протяжении многих лет ремонт предусматривал отправку горелок обратно в Швецию. Затем их устанавливали на фрезерный станок, удалявший 120 мм поврежденного металла — фактически срезалась вся передняя часть. После этого к горелке приваривалась новая передняя часть, и на этом процесс восстановления завершался. Хотя это и было дешевле, чем изготовление новой горелки, в целом процесс занимал много времени, а ряд операций выполнялся только вручную.

По мере того, как инженеры на заводе в Финспонге осваивали возможности аддитивного производства, они задались вопросом: а нельзя ли применить эти новые технологии в ремонте горелок? Специалисты *Siemens* в сотрудничестве с *EOS* разработали процесс, предусматривающий удаление с передней части горелки лишь слоя в 20 мм — с образованием неповрежденной поверхности с заданной геометрией. Затем новая передняя часть наращивалась аддитивным способом прямо на самой горелке. Это существенно сократило объем отходов, трудоемкость и сроки ремонта.

Для реализации предложенного процесса завод совместно с компанией *EOS* разработал особое исполнение станка *M280* с уникальной системой загрузки и крепления горелки, с оптической системой ориентации при 3D-печати. Теперь этот станок осуществляет уникальную операцию печати нового

наконечника поверх отфрезерованной поверхности горелки.

По мнению *Siemens*, процесс оказался очень успешным. «Мы провели уже несколько тысяч ремонтов с заменой наконечника по новой схеме. Это действительно работа в промышленных масштабах. Более того, сроки ремонта удалось сократить на 70%», – рассказывает Андреас Грайчен.

Восстановленные горелки начали эксплуатироваться на газовых турбинах по всему миру. Им предстояло самое важное испытание: выдержит ли напечатанный наконечник заданное число рабочих циклов? После 20 тысяч часов наработки горелки осматривались. Оказалось, что они находятся в отличном состоянии и могут продолжать работу без ремонта или замены.

### Преимущества аддитивного производства с позиции конструирования изделий

Исходная конструкция головки горелки состояла из 13-ти отдельных деталей, которые изготавливались традиционными методами механической обработки, а затем сваривались. Длина готовой горелки составляла порядка 800 мм, а её сборка выполнялась вручную, что было весьма сложным делом.

Освоив аддитивные технологии, инженеры завода *Siemens* в Финспонге стали искать им новые применения. Было предложено полностью изменить конструкцию головки горелки, заменив 13 отдельных компонентов одной сложной деталью, включающей в себя конструктивные элементы, которые можно изготовить только аддитивными методами.

Одно из важнейших требований к горелке – малая масса. В ходе проектирования с учетом возможностей аддитивного производства выяснилось, что стенки горелки можно сделать тоньше – это улучшит реакцию на нагрев. Кроме того, решетчатая конструкция позволяет повысить прочность горелки при меньшей массе, что снижает тепловую инерцию. К тому же решетчатая структура внутри наконечника улучшает его охлаждение.

Новый вариант конструкции, ориентированный на аддитивное производство, позволил повысить



прочность горелки и общую эффективность циклов нагрева и охлаждения турбины. В результате процессы нагрева и охлаждения стали вызывать меньший износ деталей. Так удалось добиться увеличения срока службы горелки, снижения уровня окисления и уменьшения образования трещин – основной причины повреждения горелок. Кроме того, масса стала меньше на 22%. Ведется работа по дальнейшему совершенствованию конструкции, направленная на то, чтобы уменьшить массу наполовину.

По мере освоения новой технологии на заводе в Финспонге, расширяются и сферы её применения.

«Аддитивные технологии можно сравнить со снежным комом, который растет и становится всё больше и больше. Аналогичным образом, расширяется применение аддитивных технологий – они постоянно развиваются и приносят всё больше пользы, позволяя одновременно улучшать характеристики выпускаемых деталей, сокращать сроки конструирования и изготовления, снижать расход материала и удешевлять весь жизненный цикл изделия», – считает Владимир Навроцкий.

### На переднем крае: промышленное внедрение аддитивных технологий

С развитием аддитивных процессов на заводе в Финспонге стало очевидным, что для выпуска продукции в промышленных масштабах недостаточно просто увеличить число станков. Специалисты *Siemens* быстро выявили, что для достижения стабильно высокого качества деталей требуются точное описание процесса и эффективная компьютерная платформа. В Финспонге именно программное обеспечение стало важнейшим фактором при переходе от изготовления отдельных опытных образцов к ремонту, а затем и серийному выпуску изделий.

Новейшие компьютерные системы позволили спроектировать энергетическое оборудование за три дня и изготовить его в требуемом количестве. Применение решения *Siemens NX Additive Manufacturing* и огромный опыт, накопленный за



годы изготовления опытных образцов и выполнения ремонта горелок, помогли сотрудникам предприятия начать крупномасштабный выпуск высококачественных деталей горелок новой конструкции.

Переход от штучного производства опытных образцов к ремонту и серийному выпуску потребовал значительных инвестиций в оборудование, компьютерную технику и программное обеспечение, чтобы удовлетворить возросший спрос на продукцию. В конструкторско-технологической подготовке производства задействованы решения *NX CAD*, *CAM* и *CAE* от *Siemens*, а управление данными об изделиях и процессах выполняется в среде *Teamcenter*. В результате по мере роста спроса удалось нарастить и объемы выпуска.

Теперь компьютерные программы применяются не только на этапе проектирования, но и для управления производством, а системы управления технологическими процессами (*MOM*) отслеживают расход материала, гарантируя правильное соотношение нового и переработанного сырья. Это сложное ПО действительно необходимо для эффективной и экономичной работы предприятия.

“На нашем заводе в Финспонге создана настоящая цифровая магистраль, охватывающая все этапы – от эскизного проектирования до изготовления изделий”, – отмечает **Дэйв Маделей (Dave Madeley)**, главный специалист компании *Siemens* по технологиям аддитивного производства.

Интегрированная среда *NX* для аддитивного производства помогла инженерам в Финспонге создать новую конструкцию горелки с учетом возможностей АТ и организовать выпуск столь важного компонента, как горелка, с требуемым качеством. С ростом объемов выпуска завод внедрил средства численного моделирования и систему автоматизированного управления технологическими процессами. Без подобных решений переход от единичного производства опытных образцов к серийному выпуску был бы невозможным.

## Учимся на собственном опыте

Сегодня, благодаря глубоким познаниям в этой области, компания *Siemens* является наиболее компетентным партнером, предлагающим решения, основанные на собственном успешном опыте революционных преобразований на заводе в Финспонге.

Совместная работа специалистов стала важнейшим аспектом при разработке технологий ремонта горелок газовых турбин методами аддитивного производства. Устранение внутренних барьеров, новые технологии поддержки совместной работы, кооперация с проверенными партнерами – всё это проложило путь к инновациям. По мнению компании *Siemens*, достигнутые на заводе в Финспонге результаты применимы и в других отраслях, что обеспечит вывод аддитивного производства на промышленные объемы выпуска.

“Когда технология столь нова и так быстро развивается, нужно работать в сотрудничестве с

другими компаниями, находящимися примерно на том же этапе”, – считает Дэйв Маделей. – “Нужно создавать экосистему, объединяющую специалистов”.

Работа предприятия в Финспонге лишней раз демонстрирует всю революционность аддитивных технологий. Следующий этап – спроектировать на основе полученных знаний и опыта целые узлы газовой турбины. Специалисты *Siemens* уверены, что переход от изготовления отдельных опытных образцов к промышленным объемам выпуска, охватывающим не только собственно производство, но и этапы конструирования, принесет пользу всей компании.

Освоение АТ открывает для *Siemens* и новые способы обслуживания заказчиков. Работа *Siemens* по внедрению аддитивных методов для производства в промышленном масштабе поможет другим предприятиям лучше оценить возможности имеющегося оборудования и выявить, какие именно знания необходимы для поддержки его бесперебойного функционирования.

Промышленное внедрение аддитивных технологий сталкивается с рядом непростых проблем. К тому же, аддитивное производство – неотъемлемая составляющая Четвертой промышленной революции (*Industry 4.0*). И при изготовлении опытных образцов, и при серийном выпуске изделий аддитивные технологии обладают колоссальными потенциальными преимуществами с позиции себестоимости. Предприятия во всём мире стараются понять, какую роль АТ будут играть в их производственных процессах.

“Худшее, что можно делать, это не делать ничего. Именно аддитивное производство, особенно в промышленных масштабах, способно повысить конкурентоспособность предприятий любого размера”, – отмечает г-н Грайчен. – “Изделия будут



изготавливаться быстрее, станут прочнее и интеллектуальнее. Их себестоимость в ряде случаев также снизится”.

## Концепция Siemens в сфере аддитивного производства

Работа, проводимая на заводе в Финспонге, и предлагаемые компанией Siemens программные средства для поддержки аддитивного производства – лишь часть её многоэтапного подхода к этому вопросу. Так, в 2016 году компания Siemens приобрела *Materials Solutions* – всемирно известного изготовителя деталей аддитивными методами из Уорчестера (Великобритания). Выпускаемые металлические детали исключительно высокого качества находят применение в авиационно-космической промышленности, энергетике и автоспорте.

Более того, и другие подразделения концерна Siemens, помимо занимающихся энергетикой и программным обеспечением, тоже работают над проектами в области аддитивного производства. Среди них – подразделения “Транспорт”, “Технологические исследования” и “Консультационные услуги”, реализующие подобные проекты.

Еще один аспект этой многогранной стратегии – недавно созданная компанией Siemens “Социальная сеть для аддитивного производства”. Это онлайн-сообщество, объединяющее конструкторов и поставщиков услуг аддитивного производства. Оно предоставляет доступ к знаниям в области АТ и позволяет организовывать распределенное изготовление изделий, выводя АТ на новый уровень в глобальном масштабе.

В ближайшем будущем завод в Финспонге продолжит серийный выпуск горелок, одновременно переходя на аддитивные процессы изготовления лопаток турбин.

Компания Siemens стремится оказать содействие всей отрасли в деле перехода от аддитивного производства опытных образцов к серийному выпуску продукции. Благодаря проводимым исследованиям, специалистам Siemens уже удалось организовать успешный выпуск множества изделий, и их число постоянно растет. У компании уже есть всё необходимое, чтобы помочь заказчикам в выводе новой технологии на промышленный уровень.

Преимущества АТ неисчислимы, но только дигитализация гарантирует достижение успеха.

“Без дигитализации и численного моделирования процесса [3D-печати] переход к промышленным масштабам выпуска невозможен”, – подчеркивает **Андреас Саар** (*Andreas Saar*), вице-президент компании *Siemens PLM Software* по решениям для технологической подготовки производства и руководитель программы аддитивного производства. – “Прогресс цифровых технологий, моделирования процессов, создание контуров обратной связи и алгоритмов машинного обучения станут основой широкомасштабного внедрения аддитивного производства”.



Первопроходцы в Финспонге уверены, что в будущем турбины Siemens смогут передавать информацию о своей работе в центр диагностики и заказывать запчасти, которые будут печататься по мере необходимости. Мониторинг каждой турбины (включая контроль таких параметров, как часы наработки и погодные условия) создает критически важную обратную связь, что позволяет повысить эффективность и долговечность турбин при сокращении затрат. Если газовая турбина способна выполнять самодиагностику и заранее предупреждать о необходимости технического обслуживания, то становится возможным вовремя печатать нужные детали и узлы, тем самым минимизируя простои.

## Планы на будущее

Технологии развиваются быстро. Станки и процессы аддитивного производства, применяемые в текущем, 2018 году, в дальнейшем будут существенно улучшены. Андреас Грайчен полагает, что современные аддитивные станки можно сравнить с первыми компьютерами: “В то время были люди, считавшие, что сделанного уже достаточно. Однако если бы мы прекратили создавать инновации в этой сфере, то остались бы без современных компьютеров, интернета и облачных технологий”.

Создав самый современный завод, компания Siemens собирается раскрыть полный потенциал новой технологии. Робототехника, защита информации, методы искусственного интеллекта и анализа данных играют немаловажную роль в работе “умного завода”. Завод в Финспонге послужит всем примером. Посетая его, руководители предприятий отрасли смогут увидеть будущее промышленного производства своими глазами.

Что же касается традиционных заводов, компания Siemens уже удалось сократить сроки

проведения ремонта и повысить объемы выпуска. Теперь планируется расширить применение аддитивных технологий на заводе, где всё оборудование обменивается данными. Подключая станки к единой цифровой цепочке, идущей от этапа конструирования к этапам серийного производства и контроля качества, удастся повышать стабильность и эффективность технологических процессов, а также выявлять ошибки на более ранних стадиях, что сокращает сроки подготовки производства.

Анализ больших данных и машинное обучение делают такой завод самообучаемым. Станки и 3D-принтеры будут обмениваться данными друг с другом и применять алгоритмы машинного обучения для фиксации и повторного использования знаний. Отдельные узлы и готовые изделия будут изготавливаться по мере необходимости и в точном соответствии с заданными параметрами, а производственные процессы будут улучшаться на основе информации, поступающей по контуру обратной связи. С ростом сложности и объемов анализируемой информации, отслеживание происходящих изменений вручную становится практически нереальным. Станки будущего будут самостоятельно находить, открывать и “распечатывать” файлы, обеспечивая обратную связь в реальном масштабе времени и возможность “на лету” вносить коррективы в технологический процесс.

Компания *Siemens* планирует создание еще одного завода, который будет на целый уровень выше самообучающегося предприятия. Речь идет об “умном” заводе, где применяются технологии из области искусственного интеллекта, виртуальной и дополненной реальности.

К примеру, порошки и микрочастицы, применяемые при 3D-печати деталей и остающиеся в виде отходов, опасны для рабочих, а их удаление – весьма трудоемкая задача, требующая защитной одежды и ручной очистки камеры принтера. Машины берут на себя все опасные работы, оберегая жизнь и здоровье людей. Завод будет оснащаться автономными роботами и самым современным оборудованием, способным выполнять в том числе и очистку рабочих зон, чтобы персонал не подвергался воздействию опасных веществ.

С момента начала капиталовложений в новую технологию на заводе в Финспонге уже был создан манипулятор, извлекающий порошок из камеры станка *M280*, на котором проводится ремонт горелок. Новый робот освободил рабочих от выполнения этой потенциально опасной операции.

Помимо безопасности труда, компания *Siemens* стремится достичь максимально возможной степени экологичности. Развитие аддитивных технологий приводит к сокращению потребности в ресурсах, требуемых для изготовления деталей и узлов. Готовое изделие оказывается легче, потребляет меньше энергии и материалов. Себестоимость и ущерб окружающей среде будут

минимальными, поскольку на изготовление такого изделия понадобится значительно меньше сырья.

Цель завода в Финспонге – создание полуавтономного предприятия для быстрого изготовления и ремонта изделий и для выпуска опытных образцов. При этом из персонала на заводе будут находиться только техники по обслуживанию оборудования. Мониторинг газовых турбин в ходе эксплуатации будет выявлять возникающие проблемы и предупреждать о необходимости заказа запасных частей, причем заказ выполняется автоматически с применением облачных технологий.

Автономному заводу понадобятся системы мониторинга оборудования (в том числе в режиме реального времени) и роботизированной очистки аддитивных станков, автоматические 3D-сканеры, а также процессы и системы самовосстановления, управляемые данными, собираемыми в ходе работы предприятия. Эта концепция выводит компанию *Siemens* на передний край развития аддитивных технологий.

В ближайшем будущем *Siemens* планирует увеличить число станков на заводе в Финспонге, начать выпуск запасных частей на заказ и печатать детали новых турбин. Все процессы будут контролироваться через облако с применением цифровых двойников. Принцип автономности предусматривает установку датчиков для контроля хода печати, что гарантирует соблюдение заданных параметров и выпуск продукции самого высокого качества.

## Технологии будущего: проектирование и полномасштабное производство деталей

Чтобы двигаться в будущее, нередко имеет смысл оглянуться в прошлое. Металлообработкой в Финспонге занимаются уже много веков, а освоение аддитивных технологий *Siemens* стало достойным продолжением славных традиций. Новая технология предоставляет уникальный шанс найти способы улучшения уже выпускаемых изделий, снижения их себестоимости и цены для конечного пользователя.

В случае с горелками газовой турбины всё началось с создания инструмента для изготовления опытных образцов и для ремонта ранее спроектированных изделий, а пришло к тому, что узел из тринадцати деталей был заменен на одну цельную деталь, которая сегодня выпускается аддитивным способом в промышленных масштабах. И это лишь одна область применения, а потенциал для инноваций здесь поистине безграничен.

Сотрудники *Siemens* усиленно работают, чтобы помочь промышленности всего мира воспользоваться всеми преимуществами этой новой и очень быстро развивающейся технологии. Мы подтвердили возможность широкомасштабного производства деталей аддитивными методами, став тем примером, на который будет ориентироваться вся отрасль. 🙄