

Статья “*Machining demonstration shows the digital-twin concept in action*” опубликована в сетевом журнале “*Modern Machine Shop*”, выпускаемом компанией Gardner Business Media.
Оригинал на английском языке можно найти на сайте www.mmsonline.com/articles

Механическая обработка демонстрирует концепцию цифрового двойника в действии

Mark Albert, почетный редактор “*Modern Machine Shop*”

©2019 Gardner Business Media

В двух словах суть можно выразить так: демонстрация, проведенная на промышленной выставке *IMTS 2018*, показала, что все компоненты, необходимые для ответа на “Великий вызов” (*Grand Challenge*), уже имеются, и так называемое **цифровое производство** (производство, использующее цифровых двойников) становится реальностью для производителей, стремящихся усовершенствовать процесс изготовления сложных деталей.

Если вас интересует, что означают цифровые двойники (ЦД) для производства, и что они обещают для обработки сложных деталей, то вам будет полезно узнать, что успешная демонстрация этой концепции была представлена на Международной выставке производственных технологий (*International Manufacturing Technology Show, IMTS*) в сентябре прошлого года в Чикаго, штат Иллинойс. Демонстрация, названная “Великим вызовом”, должна была доказать, что современные цифровые технологии открывают для производителей возможность использовать сгенерированные на компьютере модели для изготовления детали, контроля её качества и верификации соответствия этой детали всем спецификациям и требованиям – даже если части производственного процесса выполняются разными поставщиками, использующими различающееся оборудование. Как считают организаторы демонстрации, если эта концепция показала свою работоспособность на *IMTS*, то так же хорошо она будет работать в производственных цехах и мастерских.

Поскольку эти компьютерные модели служат в качестве цифровых двойников для всего производственного процесса, то они пригодны для репликации настроек и установок, а также для облегчения перемещения частично обработанных деталей от одного поставщика для завершения работ на оборудовании другого поставщика – без потери точности размеров и согласованности операций. Такая возможность дает генеральным подрядчикам и их субподрядчикам по обработке деталей большую гибкость, упрощает совместную работу и уменьшает количество узких мест, которые могут

помешать рабочему потоку в цепочке поставщиков.

Важно отметить, что преимуществом этой демонстрации являлось то, что использовались существующие, хорошо зарекомендовавшие себя в отношении взаимозаменяемости и интероперабельности производственные стандарты:

- компоненты **STEP** (*Standard for the Exchange of Product model data*) – совокупность стандартов **ISO 10303** по обмену данными модели изделия;
- **QIF** (*Quality Information Framework*) – американский национальный стандарт на основе XML, поддерживающий концепцию “цифровой нити” для обеспечения интероперабельности и целостности данных, начиная от проектирования продукта и заканчивая изготовлением и проведением контрольных измерений.

Переходим к демонстрации

Подготовка демонстрации *Grand Challenge* велась при поддержке рабочей группы по машиностроению организации **OMAC** (*Organization for Machine Automation and Control*) и рабочей группы **TC184/SC4/WG15** Международной организации по стандартизации (**ISO**), которая участвует в разработке стандартов производственных данных **STEP**. Руководил всей работой доктор **Martin Hardwick**, основатель и руководитель компании **STEP Tools Inc.** (Трой, шт. Нью-Йорк), который также преподает в Политехническом институте Ренсселера. На протяжении многих лет в эту деятельность по воплощению в жизнь концепций цифровых нитей (потоков) и цифровых двойников было вовлечено множество поставщиков технологий и пользователей, но основными участниками являются: станкостроители **DMG MORI** и **Hyundai WIA**, метрологические компании **Renishaw** и **Mitutoyo**, поставщик режущих инструментов **Sandvik Coromant**, а также авиаконцерн **Boeing**, представивший сообщество конечных пользователей.

Для данной демонстрации европейский авиакосмический концерн **Airbus** разработал

тестовую деталь, требующую 5-осевой обработки. Далее сотрудники американской компании Boeing добавили размеры и предельные отклонения (GD&T) и подготовили базовый технологический процесс, включающий определение заготовки, требования по режущим инструментам и 3D-модели для четырех состояний обрабатываемой детали, каждая из которых определяла результаты 3- и 5-осевых черновых и чистовых операций. Вся эта информация была сведена в один стандартный STEP-файл и отправлена компаниям DMG MORI и Hyundai WIA. Эти две компании, выступая в роли заводских цехов, разработали конкретные техпроцессы, включая УП, оптимизированные под свои обрабатывающие центры, которые были выставлены на стендах IMTS. В ходе выставки каждая компания вела обработку тестовой детали и после каждой операции проверяла её на соответствие всем спецификациям и размерным допускам.

Ключевым аспектом демонстрации было следующее: показать, как два контрактных производителя (представленных компаниями DMG MORI и Hyundai WIA) могут разделить между собой работу по изготовлению детали без потери эффективности и результативности, что крайне желательно, но сложно достижимо в реальной жизни.

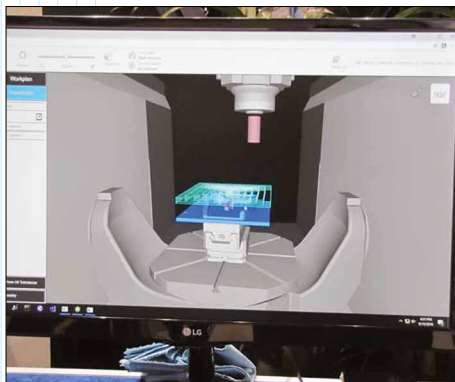
Обработку тестовой детали разделили на два этапа. Сначала оба станкостроителя, каждый на своём стенде, выполнили черновые операции



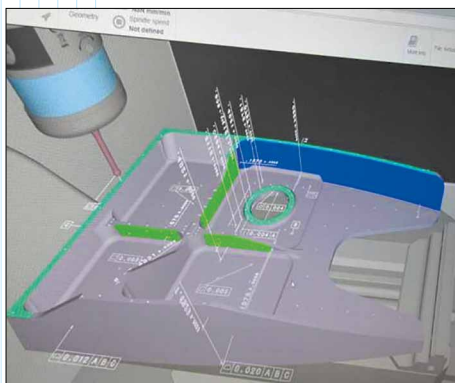
В рамках выставки IMTS 2018 был продемонстрирован ответ на "Великий вызов": на двух разных обрабатывающих центрах одновременно изготавливались две одинаковые тестовые детали, причем спроектировала эту деталь компания Airbus, а обработку подготовила компания Boeing. Здесь показана обработка на токарно-фрезерном станке DMC 125 FD duoBLOCK на стенде DMG MORI. (Иллюстрации любезно предоставлены компанией DMG MORI)



Та же самая деталь изготавливалась и на 5-осевом вертикальном обрабатывающем центре XF6300 на стенде Hyundai WIA. Обрабатывающие центры двух станкостроителей имели разную конфигурацию



На каждом стенде стояли большие экраны, наглядно отображающие цифровую модель процесса обработки. В ходе выполнения операций текущие результаты операций по удалению металла транслировались в режиме реального времени. (Иллюстрация взята из живой презентации на стенде Hyundai WIA)



Результаты контрольных измерений на станке также отображались на экранах в режиме реального времени. Ассоциативная связь данных по GD&T с критически важными конструктивными элементами позволяет наглядно показывать их текущий статус цветовым кодом



Dr. Martin Hardwick из софтверной компании STEP Tools Inc. объяснял тонкости Grand Challenge в ходе живых презентаций. (Фотографии предоставлены компанией DMG MORI)

на обрабатывающих центрах, после чего обменялись друг с другом цифровыми результатами – для выполнения чистовой обработки и измерений на станке. Такое чередование назначенных операций подчеркнуло силу цифровых форматов данных (*STEP* и ассоциированных программных технологий) и процесса обмена данными через *MTCConnect*. Таким образом, эти две компании смогли показать, что они могут определить, на чём остановилась другая, и продолжить обработку детали без регресса программных данных и критериев измерений.

Хотя изготовление компонентов в разных местах не является чем-то новым, но способ, которым это было сделано – с использованием концепций цифровой нити и цифровых двойников, – показывает текущие и потенциальные возможности повышения эффективности и гибкости в работе. К примеру, поскольку режущие инструменты определялись с помощью формата *ISO 13399*, это упростило их приобретение и использование. В результате компания *Sandvik Coromant* смогла предоставить автоматически сгенерированные схемы установки и размерной настройки инструмента. Помимо прочего, в *STEP*-файлы были включены 3D-модели режущих инструментов, предназначенные для импортирования в *CAM*-системы (сотрудники *DMG MORI* и *Hyundai WIA* использовали разные *CAM*-системы). Наличие такой информации в стандартном формате сделало возможным создание цифрового двойника детали во время её обработки.

Для создания фактического цифрового двойника использовалось программное обеспечение компании *STEP Tools* и подключение *MTCConnect* к системе управления станками *Siemens 840D*. Осевые перемещения в течение процесса обработки измерялись и объединялись с данными *STEP*, создавая фактический цифровой двойник. Наблюдатели могли видеть виртуальную обработку ЦД одновременно с обработкой физической детали и следить за тем,

как изменения физического процесса (такие, как форсирование подачи) отражаются на цифровом двойнике.

В ходе изготовления детали на каждом станке проводились контрольные измерения с помощью измерительного щупа *Renishaw*. Опять-таки, в этом нет ничего нового, но способ разработки функций измерения и то, что делалось с полученной информацией, показали гибкость и полезность цифрового двойника. Так как *GD&T*-информация была определена в *STEP*-файле и напрямую связана с

геометрией, то не было необходимости вручную переносить те же самые данные в управляющую программу. Аналогично этому, поскольку требования *GD&T* и процесс контрольных измерений привязаны к конструктивным элементам, то не составляет труда связывать результаты измерений с релевантной геометрией.

Итогом стало объединение результатов измерений и ЦД. И снова наблюдатели могли видеть это в режиме реального времени. Цифровой двойник позволял не только показывать цифровые величины, но и отображать статус [точности] конструктивных элементов с помощью цветового кода, чтобы наглядно продемонстрировать отклонения обрабатываемой детали от номинальных размеров.

Интуитивно понятная природа графического представления результатов контроля затем была продемонстрирована с помощью *QIF* – нового стандарта, поддерживающего концепции цифровой нити и цифрового двойника, который был разработан консорциумом *Digital Metrology Standards Consortium* для замены *DMIS*, старого стандарта обмена метрологической информацией. Во время этой демонстрации автоматически сгенерированное *QIF*-представление результатов контроля было объединено с цифровым двойником и использовано [с помощью координатно-измерительного оборудования компании] *Mitutoyo* для валидации точности ЦД, а также для подтверждения результатов. И снова процесс оказался явно более простым и интуитивно понятным – благодаря применению стандартных форматов данных и привязки *GD&T*-информации к фактической геометрии.

В дополнение ко всему демонстрация представила сценарий, когда цифровой двойник во время обработки совместно используется пользователями в удаленном режиме через защищенное интернет-подключение. Таким способом можно в реальном масштабе времени мониторить и анализировать ход обработки. К

примеру, если измерения на виртуальной модели показывают несоответствие допускам, то оператору станка может быть послан сигнал тревоги для корректировки настроек. Аналогично этому, поскольку вкладываемые в ЦД данные полностью связаны с конструктивными элементами детали, то в дальнейшем их можно проанализировать с целью совершенствования процессов обработки.

Ответы на острые вопросы

По словам д-ра *Hardwick*, успех демонстрации зависел от бесшовного взаимодействия *STEP*, *MTConnect* и *QIF*, что позволяло применить технологии цифрового двойника при изготовлении детали.

Стандарт *STEP* важен для описания данных модели в понятном для УЧПУ формате, обеспечивающем возможность описания траекторий инструмента с размерами и допусками, которые должны быть получены в результате обработки. Возможности *MTConnect* обеспечивают постоянную передачу координат инструмента в цифровом формате в режиме реального времени – это позволяет зафиксировать, что делал станок, обрабатывая команды УП. Аналогично, *QIF* делает возможным подготовку и совместное использование отчетов по оценке качества. Д-р *Hardwick* говорит, что *QIF* дополняет *MTConnect*, позволяя выявить причины возникновения условий, при которых не соблюдаются размерные допуски.

Ценность этих трех стандартов заключается в том, что вместе они делают реальным достижение цели “изготовить здесь, сейчас и правильно”. Д-р *Hardwick* поясняет, что под “изготовить здесь” он подразумевает возможность сделать деталь, используя локальные станочные ресурсы; это достигается благодаря интероперабельности. “Изготовить сейчас” – означает вести производство без задержки или сомнений, что обеспечивается симуляцией обработки и верификацией. “Изготовить правильно” – способность сделать деталь точно в соответствии со спецификацией, что достигается за счет того, что системы метрологии дают мгновенную обратную связь.

Другими словами, на каждом этапе производственного процесса должно обеспечиваться почти полное соответствие между реальным и идеальным – то есть, между физическими объектами и их цифровыми копиями. Под соответствием он понимает следующее: то, что верно для виртуальных компьютерных моделей, то будет верно и для обрабатываемых деталей.

“В этом и заключается ценность цифрового двойника”, – утверждает д-р *Hardwick*. – “Сегодня возможности компьютерных технологий – скорость, портативность, аналитическая

мощь, объемы хранения информации – уже могут покрывать физическую реальность. Если вы это понимаете, то концепция основанного на ЦД производства обретает для вас смысл, и появляется веская причина, чтобы использовать её при изготовлении деталей”.

Тем не менее, добавляет он, необходимость дальнейшей разработки технологий, лежащих в основе демонстрации на *IMTS*, всё еще остается. Например, производители УЧПУ и разработчики САМ-систем должны продолжать создавать интерфейсы, обеспечивающие более полную поддержку *STEP*-моделей. Стандарты *QIF* и *MTConnect* тоже еще не формализовали все определения для словаря и тэги данных, особенно в тех областях, которые обеспечивают совместимость результатов обработки и измерений.

Команда, состоящая из соперников

Помимо того, что все цели *Grand Challenge*, как уверяют участники демонстрации, были достигнуты, есть и еще одно достижение, которое нельзя недооценивать. Эта демонстрация показала миру крайне необычное сотрудничество конкурентов.

Вот как высказался об этом *David Odendahl*, младший технический специалист в *Boeing*: “Тестовая деталь была спроектирована компанией *Airbus*, её обработка запрограммирована компанией *Boeing* и выполнена компаниями *DMG MORI* и *Hyundai WIA*, контрольные измерения проведены системами *Renishaw* и *Mitutoyo*. Эти компании часто находятся в состоянии конкуренции, но в этом проекте они работали бок о бок для достижения общей цели”.

Важность *Grand Challenge* подтверждают и заявления участников.

James Nudo, президент *DMG MORI USA*, отметил следующее: “Цифровой двойник ускоряет и стабилизирует все процессы у заказчиков. Виртуальный объект производится параллельно реальной обработке компонента. Эта комбинация информации из реального и виртуального миров является решающим шагом для *DMG MORI* и наших клиентов, позволяющим улучшить качество и скорость подготовки производства и работы в цехах. Наши клиенты являются энтузиастами цифрового инжиниринга – особенно это касается прямого отслеживания в реальном масштабе времени и визуализации качества компонентов”.

Самым важным для всего производственного сообщества является то, что эта демонстрация представила убедительное доказательство необходимости дальнейших усилий для лучшего понимания концепции обработки на основе цифровых двойников, равно как и шагов по воплощению этой концепции в жизнь. 🙄