

# На основе разработок *Renishaw* удалось в 4 раза повысить точность и вдвое снизить трудоемкость чистового фрезерования лопаток авиадвигателей

© 2020 Renishaw plc

Научно-производственная ассоциация “Технопарк авиационных технологий” (НПА “Технопарк АТ”) является экспериментальной промышленной площадкой для отработки инновационных производственных решений с целью последующего внедрения на крупнейших серийных авиадвигателестроительных предприятиях региона. Деятельность ассоциации связана с инжинирингом и реализацией новых производственных технологий, являющихся критически важными для авиационной отрасли.

Ключевыми элементами современного авиационного двигателя являются детали газового тракта – лопатки рабочих колес, направляющих аппаратов. Значительную долю себестоимости таких изделий формируют трудозатраты на их механическую обработку, что связано со сложной формой и высокими требованиями к точности размеров обрабатываемых поверхностей. Это обуславливает необходимость проведения большого количества операций промежуточного контроля вне станка и дальнейших многократных доработок, что приводит к значительному росту затрат на изготовление деталей такого рода.

В связи с этим перед ведущими специалистами НПА “Технопарк АТ” и инженерами предприятия по серийному производству была поставлена задача разработки управляемой технологии чистового фрезерования рабочих колес с возможностью контроля измерений непосредственно на станке, без переустановки детали.

## Предыстория

Прежде, до внедрения управляемой технологии чистового фрезерования, от 30% до 60% трудоемкости этой операции составлял контроль детали вне станка системой бесконтактного сканирования после получистовой и чистовой обработки, что необходимо для определения объема недоработанного материала, а также связанные с этим операции повторной установки и выверки заготовки.

Анализ статистики отклонений размеров лопаток рабочих колес после лезвийной обработки показал наличие значительных погрешностей. В поперечном сечении обработанной лопатки наблюдались следующие отклонения:



- колебание остаточного припуска  $\pm 0.064$  мм;
- смещение от номинального профиля 0.082 мм.

Отклонения в продольном сечении имели близкие значения:

- колебание остаточного припуска  $\pm 0.082$  мм;
- смещение от номинального профиля 0.111 мм.

Основными причинами возникающих в ходе лезвийной обработки отклонений являются:

- кинематическая погрешность станка при 5-координатной обработке;
- упругие деформации заготовки лопатки в процессе резания, обусловленные её малой жесткостью;
- упругие деформации инструмента в процессе обработки.

“Лезвийная обработка отклонений предполагала постоянное присутствие у станка технолога-программиста – для корректировки управляющих программ и повторной привязки детали. Большой объем необходимых для доработки действий многократно увеличивал риск возникновения неисправимого брака, связанного с человеческим фактором. Возникла очевидная необходимость разработки принципиально нового решения для высокоточного и быстрого фрезерования рабочих колес”, – вспоминает ведущий специалист предприятия – серийного производителя рабочих колес.

В техническом задании по разработке управляемой технологии чистового фрезерования рабочих колес представители серийного производства сформулировали следующие требования к процессу:

- получистовая обработка по параметризованной УП;
- контроль величины оставшегося припуска прямо на станке с ЧПУ, без переустановки;
- корректировка параметризованной УП по результатам измерения;
- чистовая обработка по скорректированной параметризованной УП.

## Решение

Техническое решение НПА “Технопарк АТ” предполагает предварительное фрезерование пера лопатки, проведение промежуточного контроля с помощью станочной контактной системы сканирования *SPRINT* компании *Renishaw* и последующую корректировку УП для чистовой обработки на основе результатов обмера.



“Технопарк более пяти лет успешно сотрудничает с компанией *Renishaw*. Мы оснащаем свои станки несканирующими датчиками, используем системы измерения инструментов *Renishaw* и на практике убедились в безупречной точности измерений и гибкости возможностей доступа к измеряемым элементам. Когда возникла необходимость разработки программного обеспечения на базе сканирующего контактного датчика, мы обратились к нашим партнерам из *Renishaw*. Уникальная технология трехмерного контактного измерения, разработанная *Renishaw*, не имеет аналогов и демонстрирует исключительную скорость и точность контактных измерений на станках с программным обеспечением”, – рассказал Семен Старовойтов, кандидат технических наук, начальник отдела инновационной деятельности НПА “Технопарк АТ”.

## ПО *Productivity+*

Программное обеспечение, разработанное специалистами НПА “Технопарк АТ”, позволяет формировать управляемую технологию обработки конкретного изделия за счет реализации интерфейса с применяемой технологией программистом *CAM*-системой и ПО *Productivity+* компании *Renishaw*.

Пакет для сканирования *Productivity+* встроен в станочную измерительную систему, которая использует аналоговый сканирующий датчик *OSP60* с технологией *SPRINT* для регистрации абсолютного положения поверхности по осям *X*, *Y*, *Z* с исключительной точностью. Сканирование с помощью датчика *OSP60* позволяет быстро определять такие отклонения формы элементов, которые остались бы незамеченными при использовании контактных триггерных систем. Результаты измерений, полученные датчиком *OSP60*, могут служить основой для управления последующими операциями обработки.

Результаты измерений можно выводить на дисплей станка в реальном масштабе времени или просматривать через программное расширение для ПО *Productivity+*, что обеспечивает мгновенную обратную связь и уверенность в правильности технического процесса.

В числе преимуществ ПО *Productivity+* надо отметить следующие возможности:

- экспорт результатов измерений в файл для дальнейшего анализа;



- программирование непосредственно на основе *3D*-моделей;
- выявление потенциальных коллизий (соударений) средствами программной визуализации;
- построение виртуальных элементов на основе существующих результатов измерений;
- встроенная калибровка датчика и наладка инструмента;

- составление отчетов о результатах измерений, допусках и обновлениях элементов;
- проверка деталей до их извлечения из станка.

“Производственная эксплуатация разработанной нами управляемой технологией предполагает автоматическую корректировку файла УП на основе данных сканирования пера лопатки системой *SPRINT*, что исключает необходимость постоянного присутствия у станка технолога-программиста”, – отметил Семен Старовойтов.

Применение программного обеспечения на базе станочной контактной системы сканирования *SPRINT* компании *Renishaw* позволяет в режиме реального времени определять отклонения формы элементов детали, которые остались бы незамеченными при использовании контактных триггерных систем. Мы получили результат, превосходящий все ожидания: более чем в четыре раза повысили точность операции чистового фрезерования рабочих колес и вдвое снизили её трудоемкость.

НПА “Технопарк АТ” (Россия)

## Результаты

Разработанное специалистами НПА “Технопарк АТ” программное обеспечение реализует интерфейс с применяемой технологией программистом *CAM*-системой и ПО *Productivity+* компании *Renishaw*, что позволяет формировать управляемую технологию обработки рабочих колес. Получение актуальных данных о фактических размерах и форме всей обработанной поверхности от измерительной системы непосредственно на станке является основой для оперативного внесения коррекций в УП обработки, что позволяет значительно сократить затраты на чистовое фрезерование. При этом, как показала практика, величина финальных отклонений при обработке деталей лопаток рабочего колеса составила всего  $1 \div 28$  мкм против  $0.111 \div 0.082$  мм при использовании традиционного подхода к созданию технологии чистового фрезерования.

Сканирование и измерение деталей на высокой скорости обеспечивает огромную экономию времени при выполнении измерений и настройки на технологическую операцию непосредственно на станке с ЧПУ, что означает увеличение полезного, производительного времени работы станка. 🕒