



УДК 621.7.01:629.7.03

*Кондратюк Э.В., Зиличихис С.Д., Жарик В.Г., Филимонова Л.Л.*

Государственное предприятие «Запорожское машиностроительное конструкторское бюро «Прогресс» имени академика А.Г. Ивченко, Украина, г. Запорожье

**ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ STARRAG  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ГТД НА ГП «ИВЧЕНКО-ПРОГРЕСС»**

*Рассматривается технология изготовления деталей ГТД, как альтернатива традиционным методам их получения в условиях опытного производства. В связи с уменьшением объёмов производства представляет интерес размерная обработка пера лопаток компрессора на 5ти-координатных обрабатывающих центрах. Описан опыт использования станков Starrag (Швейцария) при обработке трактовых поверхностей центробежных и осевых моноколес, рабочих и направляющих лопаток компрессора. Как результат, в статье представлены фотографии и модели обрабатываемых деталей.*

Ключевые слова: высокоскоростное фрезерование; лопатка компрессора ГТД; центробежное и осевое моноколесо; обрабатывающий центр; подготовка производства.

**Постановка проблемы и  
её связь с практическими задачами**

Из отечественного и зарубежного опыта производства лопаток ГТД можно выделить несколько традиционных методов их получения, которые на сегодняшний день преобладают в производстве. Это такие виды безлезвийной обработки, как: точная штамповка, холодное вальцевание, электрохимическая обработка. Однако при выборе технологического процесса изготовления имеет большое значение тип производства. Вышеотмеченные высокопроизводительные процессы используются при больших партиях: серийном, крупносерийном, массовом типах производства и, как правило, они требуют длительной и дорогостоящей подготовки производства. В опытном производстве и где незначительные партии выпуска изделий, целесообразно использовать процессы, не требующие длительной и сложной подготовки производства [1].

В последнее время появилась технология получения лопаток компрессора методом высокоскоростного фрезерования (ВСФ). При этом применяются новейшие фрезерные 5-координатные высокоскоростные обрабатывающие центры, выпускаемые мировыми производителями такими, как: МАНО (Германия), OKUMA (Япония), HAAS (США), Ferrari (Италия), LIECHTI (Швейцария), Starrag (Швейцария) и другие.

В связи с этим наше предприятие ГП «Ивченко-Прогресс» остановило свой выбор на технологии лезвийной обработки и тесном сотрудничестве с

холдингом Starrag Group. Вместе с тем, отдельное наличие оборудования не гарантирует успеха. Очень большое значение имеет технология, которая на нем реализуется. Преимущество Starrag заключается в предоставлении такой технологии изготовления лопаток, а также подбора заготовки, инструмента, смазывающе-охлаждающей жидкости. Обработка деталей ГТД выполняется на высокопроизводительных 5ти-координатных обрабатывающих центрах Starrag ZS-500/130, Starrag STC 100, Starrag SX-051. Данное оборудование находит широкое применение не только на нашем предприятии для обработки трактовых поверхностей центробежных и осевых моноколес, рабочих и направляющих лопаток компрессора (рис. 2, 3, 4).

**Цель работы** заключается не только в сокращении машинного времени за счёт интенсификации режимов резания при ВСФ, а в общем упрощении производственного процесса и повышении качества обработки деталей.

**Опыт внедрения станков**

В сравнении с традиционными способами обработки установлено, что для опытного производства высокоскоростная фрезерная операция является универсальной, позволяющей обрабатывать перо, полки, сопряжения лопаток компрессора различной длины. Также следует отметить, что традиционные технологии изготовления лопаток, как правило, операционные. Соответственно применяется большое

количество универсального и специального оборудования, при этом требуется множество различной оснастки. Время на подготовку производства составляет до полугода (рис. 1).

При ВСФ для подготовки производства необходимо следующее:

- подготовка управляющей программы;
- режущий инструмент;
- адаптор.

Соответственно преимущество ВСФ в сравнении с традиционными методами обработки заключается в гибкости производства и время на его подготовку сокращается до 1 месяца (рис. 1), с учетом переналадки с одной ступени на другую.

Мощность подготовки производства в авиационном двигателестроении колеблется на различных предприятиях от 1 до 5 мил человеко-часов в год. Это значит, что сроки технологической подготовки производства одного двигателя могут составлять от 2 до 5 лет. В современных экономических условиях оснащение производства в таких объемах и в указанные сроки оказывается неприемлемым. Длительные циклы технологической подготовки производства приводят к омертвлению капиталовложений на многие годы и, следовательно, к снижению конкурентоспособности продукции [2].

Из диаграммы циклов (рис. 1) можно сделать вывод, что в связи со значительным сокращением объемов производства в авиационной отрасли, внедрение современного фрезерного оборудования является целесообразным.

Однако в свою очередь при ВСФ существуют следующие этапы производства, которым необходимо уделять дополнительное внимание:

1. заготовка;
2. режущий инструмент;
3. режимы обработки;

4. управляющая программа;
5. оснастка.

Каждый этап перед собой ставит ряд задач:

– на этапе «заготовка» существует необходимость в достижении минимальных припусков под механическую обработку. По мере отработки технологии пришли к заготовкам с припуском от 1 до 2,5 мм в зависимости от длины пера лопаток. Изготовление заготовок с малыми припусками позволило повысить коэффициент использования металла по лопаткам компрессора до 0,3, а также значительно снизить трудоёмкость механической обработки за счёт исключения операций предварительной размерной обработки пера.

– на этапе «режущий инструмент» существует необходимость в правильном подборе материала твердого сплава, качественной заточке и геометрии инструмента. Так как геометрия режущего инструмента и степень его затупления являются одним из факторов, определяющих качество поверхностного слоя. Время работы инструмента – до его принудительной замены.

– на этапе «режимы обработки» существует необходимость уделять внимание их подбору с учетом нахождения зон, где отсутствуют вибрации. Должен осуществляться правильный выбор режимов резания с целью достижения оптимального качества поверхностного слоя и положительной технологической наследственности, обеспечивающих надежную работу лопаток ГТД.

– на этапе «управляющая программа» существует необходимость в стратегии обработки, с целью получения правильно разработанной программы с оптимальным припуском 0,04 мм под последующие финишные операции.

– на этапе «оснастка» существует необходимость в её стабильном позиционировании, а также она

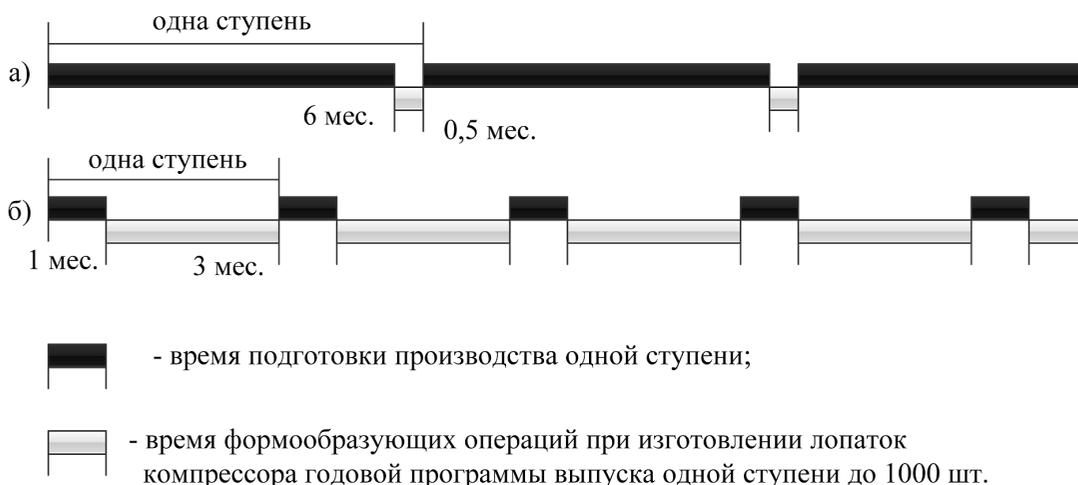


Рис. 1. Усредненная диаграмма циклов подготовки производства и времени формообразующих операций при изготовлении лопаток компрессора: а) традиционными методами; б) на станках STARRAG методом ВСФ

должна гарантировать достаточную жесткость и соответствовать требованиям ТП.

Несмотря на использование высокомеханизированного оборудования для раздельной обработки элементов проточных поверхностей лопаток компрессора, сохраняется необходимость ручной доработки, требуется определенное количество финишных слесарных работ.

### Краткое описание результатов

За период с декабря 2002 по сентябрь 2013 года на предприятии было изготовлено около 35000 шт. лопаток к различным ступеням двигателя (более 30 наименований), что полностью покрыло потребности предприятия.

При разработке стратегии и самой технологии должны решаться вопросы оптимизации режимов резания, инструмента, оснастки, устранения вибрации системы СПИД и использования высокопроизводительных методов обработки.

В частности проводили мероприятия, способствующие повышению эффективности процесса ВСФ. С целью устранения возникающих вибраций при обработке тонкостенных элементов ЦБК, выполняли заполнение межлопаточного пространства композицией на основе герметика (рис. 4а) с применением специальной геометрии инструмента (фрезы с двумя конусами (рис. 5б)), что позволило нам сократить время и увеличить стабильность обработки.



а

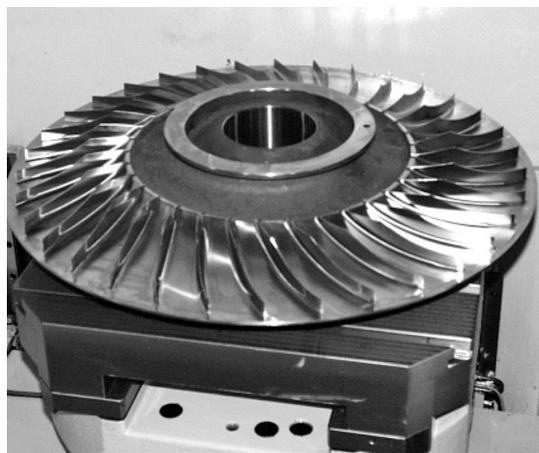


б

**Рис. 2.** а) модель рабочей лопатки вентилятора; б) фотография рабочих лопаток компрессора двигателя Д-18Т, обработанных на станках Starrag SX-051, STC 100



а

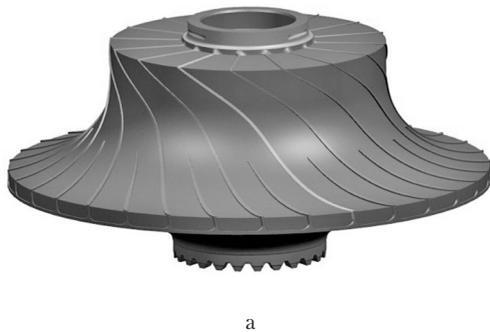


б

**Рис. 3.** Колесо ЦБК двигателя Д-27: а) модель колеса; б) фотография колеса, обработанного на станке Starrag ZS-500/130

Поскольку оборудование Starrag направленно на окончательное формообразование, для предварительной обработки на предприятии находят широкое применение другие станки 4-х координатной обработки с целью разгрузки «Starrag».

Результаты измерений шероховатости поверхности лопаток после чистового фрезерования показали, что качество поверхности большой и малой лопаток ЦБК с заполненным клеевым композитом межлопаточных каналов, а также с применением фрезы с



а



б

Рис. 4. Колесо ЦБК двигателя АИ-450: а) модель колеса с заполнением межлопаточного пространства композицией на основе герметика; б) фотография колеса, обработанного на станке Starag ZS-500/130

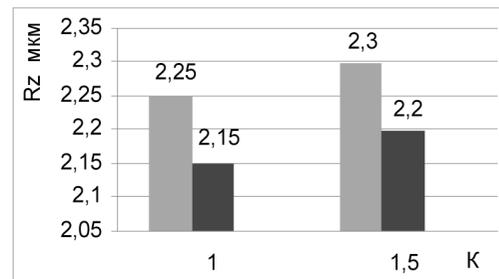
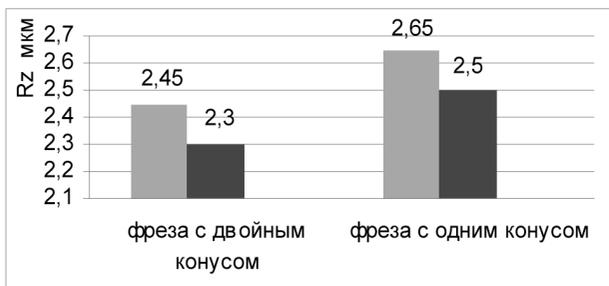
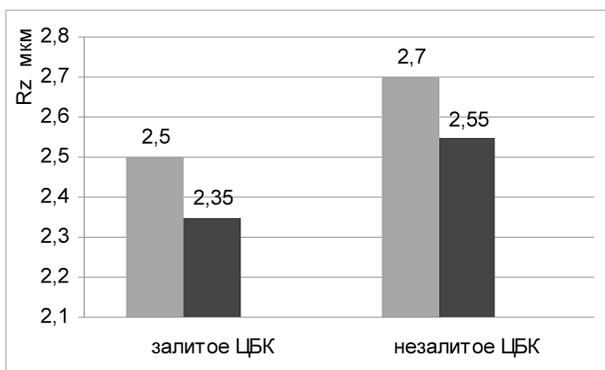


Рис. 5. Диаграммы зависимостей шероховатости поверхности от: а) от условий обработки; б, в) от геометрии режущего инструмента с фотографией фрезы с двойным конусом; г) от коэффициента зависимости режимов резания

двойным конусом, лучше, чем у колеса, обработанного первоначально (рис. 5 а, в, г).

Сегодня эффективная и рациональная обработка вышеупомянутых деталей на станках с ЧПУ возможна только с использованием специального программного обеспечения для создания управляющих программ вне оборудования, т.е. на рабочем месте технолога с целью исключения простоя станков. Для конструкторско-технологической подготовки производства одним из наиболее мощных решений в области САМ-системы обработки центробежных колес является система PSI 5D и RSC 6,21 обработки лопаток компрессора. PSI 5D и RSC 6,21 – отводит важнейшее место модульному представлению

для пошагового программирования с простыми экранными инструкциями и функциями помощи, предлагает одновременное высвечивание текста и многоцветных графиков для оптимального контроля полного создания поверхности и движений инструмента в пространстве.

Внедрение системы CAD/CAM на предприятиях авиационной промышленности носит эволюционный характер, рассчитанный на постепенное расширение круга решаемых задач. Начиная с проектирования и изготовления отдельных деталей и заканчивая интеграцией в автоматизированные системы, охватывающие в конечном итоге весь жизненный цикл изделия [2].



### Выводы

Внедрение технологии и оборудования Starrag ZS-500/130, STC 100, SX-051 в кратчайшие сроки позволило предприятию в разы сократить время подготовки производства и сроки освоения выпуска новых лопаток. Предоставляемая технология STARRAG стала фундаментом и дала толчок для разработки собственных решений, которые расширили возможности этого технологического процесса, используемого при освоении новых изделий и совершенствовании действующих.

Преимущество внедрения данных станков заключается в гибкости производства, стратегическая задача, которого направлена на бесперебойное

выполнение производственной программы и оперативное изменение ассортимента и характеристик выпускаемой продукции в соответствии с изменениями рыночной конъюнктуры, прогнозами и анализом маркетологов.

### Литература

- [1] Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей / [Братухин А. Г., Язов Г. К., Карасев Б. Е.]. – М.: Машиностроение, 1997. – 416 с.: ил.
- [2] Крымов В. В. Производство газотурбинных двигателей / Крымов В. В., Елисеев Ю. С., Зудин К. И. М.: Машиностроение / Машиностроение-Повет, 2002. – 376 с.: ил.

*Kondratyuk E.V., Zilichikhis S.D., Zharyk V.G., Filimonova L.L.*

Zaporozhye Machine-Building Design Bureau Progress State Enterprise named after Academician A.G. Ivchenko. Ukraine, Zaporozhye

### APPLICATION EXPERIENCE OF STARRAG EQUIPMENT FOR GTE PARTS PRODUCTION AT SE «IVCHENKO-PROGRESS»

*The fabrication method of GTE parts as alternative tradition approaches them production in short-run environment is considered. Because of production volume decline the dimension treatment of compressor blades' air-foil on five-access machining centers becomes actual. An application experience of Starrag machines (Switzerland) for treatment of tract surfaces of impellers and blisks, compressor blades and vanes is described. As a result, photos and models of workpieces are depicted in this paper.*

Keywords: high-speed milling, GTE compressor blade, impellers and blisks, machining center, preproduction.

### References

- [1] Sovremennye tehnologii v proizvodstve gazoturbinnnykh dvigatelej / A. G. Bratuhin , G. K. Jazov, B. E. Karasev. – М.: Mashinostroenie, 1997. – 416 s. (Russian)
- [2] Krymov V. V. Proizvodstvo gazoturbinnnykh dvigatelej / V. V. Krymov, Ju. S. Eliseev, K. I. Zudin / – М.: Mashinostroenie / Mashinostroenie-Polet, 2002. – 376 s. (Russian)