

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОХОДНОГО СЕЧЕНИЯ ЛОПАТОК ТУРБИН ПРИ ГЛУБИННОМ МНОГООСЕВОМ ШЛИФОВАНИИ НА СТАНКЕ С ЧПУ

Норин А.О., Макаров В.Ф., Никитин С.П., Туранский Р.А. (ОАО «Авиадвигатель», Пермский национальный исследовательский университет, Пермь, Россия)
E-mail: makarovv@pstu.ru

Abstract: In article results of working out and application of the special software for correction introduction in program CNC of the multiaxial grinding machine tool of model MFP-050.65.65 of firm Magerle AG are resulted at installation of shovels for deep grinding of the base surfaces, considering actual deviations of foundry surfaces of a profile of a feather of shovels concerning nominal design surfaces. For maintenance of high efficiency and demanded draught gas turbine the engine designers calculate size of the effective area blades section through passage tunnel the device. At assemblage tunnel the device accuracy of section through passage depends on accuracy of manufacturing of foundry surfaces of a profile of shovels and accuracy at deep grinding of base adjusting surfaces by everyone individual tunnel shovels. The technology of grinding of base surfaces of shovels existing before did not consider an error of molding of shovels, long adjustment of shovels for maintenance of section through passage and engine efficiency as a result was required. For performance of this problem (PO) preparations of data the software complex is developed for grinding of shovels which includes ON for the automated calculation of sizes of displacement and turn corners сопловых and working shovels. In data PO automatic process of reception of sizes of indemnification of displacement and corners of turn which includes batch operation by results of numbering of the complete set of shovels is developed. Also it is developed PO for the automated construction, the analysis and editing of the area of section through passage отливок and shovels.

Keywords: section through passage, turbine shovels, deep grinding, profile surfaces, grinding circles, quality of a surface, a turn corner, quantity of passes, errors of moulding of shovels.

1. Особенности обработки сопловых лопаток

В настоящее время на производстве существует проблема компенсации погрешности литья при дальнейшей механической обработке изделий. Для того чтобы произвести механическую обработку, в первую очередь необходимо правильно установить заготовку, т.е. придать ей правильное положение относительно выбранной системы координат. Для сопловых либо рабочих лопаток такое положение определяется по базовым литейным точкам. Однако, на практике, при таком варианте базирования сопловых или рабочих лопаток, а именно на их проточных частях возможно появление искаженной геометрии по сравнению с эталоном, что связано с погрешностью литья отливок.

Одной их важных характеристик сопловых лопаток является их проходное сечение.

Площадь проходного сечения – это один из ключевых параметров, характеризующих работу газогенератора и газотурбинного двигателя в целом. Он характеризует площадь сечения межлопаточного канала соплового аппарата, направляющего поток раскаленного газа на лопатки ротора турбины и создания крутящего момента на вал ГТД. Разработчиками двигателя закладывается величина площади проходного сечения соплового аппарата, при которой достигается оптимальные КПД и тяга двигателя.

При сборке соплового аппарата точность проходного сечения зависит от качества изготовления литейных поверхностей профиля лопаток и базовых установочных поверхностей каждой сопловой лопатки. Профиль лопатки после литья не обрабатывается (только полируется), поэтому невозможно ввести коррекцию на профиль лопатки с по-

мощью механической обработки напрямую, но установочные поверхности отливки обрабатываются шлифованием. Введя коррекцию при шлифовании, можно улучшить положение профиля лопатки в пространстве после установки лопатки. Поэтому перед началом шлифования установочных поверхностей сопловых лопаток на шлифовальном станке есть возможность ввести коррекцию, учитывающую отклонения литейных поверхностей относительно номинальных конструкторских поверхностей.

Для получения величин коррекции разработано специальное программное обеспечение (СПО). Возможности СПО включают в себя:

1. Автоматизированного расчета величин смещения и углов поворота сопловых и рабочих лопаток. Данные величины используются для компенсации погрешности литья лопаток.

2. Автоматизированного построения, анализа и редактирования площади проходного сечения лопаток.

Профилешлифовальный 5-ти осевой станок с ЧПУ Siemens Sinumerik 840D модель MFP-050.65.65 фирмы «Magerle AG» (Швейцария) имеет горизонтальное расположение шпинделя и поворотный стол. Станок предназначен для комплексной обработки шлифованием сложных деталей с круговой интерполяцией одновременно по пяти осям координат. Современная конструкция станка и концепция системы управления обеспечивают высокую производительность и точность обработки в условиях единичного, мелко и среднесерийного производства.

Ниже представлена схема расположения приспособления для шлифования лопатки. Приспособление расположено на паллете, которая устанавливается на стол станка по посадочным местам.

2. Исходные данные для работы СПО

Исходными данными для ПО являются:

- Оцифрованные модели (ОМ) отливок сопловых лопаток в формате STL (фасетные тела). Оцифровка отливок производится с помощью бесконтактной оптической системы типа ATOS.

- Геометрическая модель (ГМ) лопатки, созданная в CAD/CAM системе NX.

- Данные о числе лопаток в колесе, а также номинальная площадь проходного сечения.

- Величина припуска на обрабатываемые поверхности лопатки.

- Максимальный угол поворота отливки при подгонке проходного сечения.

3. Порядок работы СПО для компенсации погрешностей литья лопатки

При сравнительном анализе оцифрованной и геометрической моделей придерживаются следующей последовательности действий:

1. Определяется 6 контрольных точек на оцифрованной модели (ОМ) отливки путем совмещения фасетного тела оцифрованной модели отливки с ГМ лопатки.

2. По 6 контрольным точкам ОМ совмещается с ГМ лопатки). При этом ОМ и связанная с ней СК изменяет свое положение. Данное положение сохраняется для последующего участия в расчетах.

3. Далее проводится совмещение по наилучшему совпадению геометрии (best fit) проточных частей оцифрованной модели (ОМ) и ГМ отливки). После данного совпадения также сохраняется положение ОМ и связанной с ней СК.

4. В результате совмещений в расчете присутствует 2 системы координат: СК после совмещения по контрольным точкам и СК после совмещения по проточной части.

5. Если загружено 2 и более отливки, СПО дает возможность задания дополнительной коррекции на площадь проходного сечения. На основе совмещенных по про-

точной части моделей производится построение сборки сектора из нескольких лопаток или всего соплового аппарата в целом).

6. Между парами соседних лопаток строится поверхность для определения площади проходного сечения, проходящая через выходную кромку пера лопатки и перпендикуляр от ребра выходной кромки на перо соседней лопатки).

7. С учетом величины площади вычисляется угол, на который необходимо повернуть ОМ отливки относительно собственной оси так, чтобы площадь проходного сечения находилась в заданном допуске. Максимальный угол поворота задается пользователем, например, не более 1°). Если расчетный угол больше максимального, то он ограничивается задаваемым углом.

8. Полученные данные о повороте преобразуются в матрицу трансформации и добавляются к матрице, полученной при компенсации погрешности литья.

В СПО заложена возможность анализа наличия или отсутствия припуска на механическую обработку. Технолог может задать необходимую величину припуска на обрабатываемые поверхности и СПО учтет эти данные в процессе совмещения. Если не хватило припуска на обработку, СПО покажет места, на которых припуска не хватило и ограничит совмещение таким образом, чтобы не выходить за пределы припуска ОМ.

9. По разнице между положениями ОМ отливки после совмещения по контрольным точкам и проточной части находится матрица трансформации).

10. Далее, из матрицы извлекаются величины смещений (3 угловые координаты и 3 координаты смещения), которые загружаются в стойку станка в виде специального файла) и учитываются при обработке лопаток на первой установке.

11. Полученные для каждой отливки величины сохраняются на сервер предприятия и при обработке отливки на шлифовальном станке используются для смещения системы координат паллеты.

12. СПО позволяет автоматизировать процесс получения величин компенсации смещения и углов поворота, который включает в себя пакетную обработку комплекта лопаток. Выходными данными после работы данного СПО являются:

- фасетные тела отливок в файле детали NX, полученные после совмещения отливок по проточной части с номинальной ГМ лопатки.
- текстовый файл с величинами смещений и углами поворотов для применения на станке (3 угловые координаты и 3 координаты смещения).

Полученные величины смещений и углы поворота компенсируют погрешность литья лопатки, однако не учитывают фактическую площадь проходного сечения. Поэтому проводится расчет фактической площади проходного сечения и необходимая дополнительная коррекция установки лопатки перед операцией шлифования базовых поверхностей лопаток. Расчет площади проходного сечения проводится также с помощью разработанного СПО.

4. Испытание СПО на станке

В процессе испытаний проверялись алгоритмы СПО, включающие следующие пункты:

- Проверка работоспособности алгоритмов совмещения геометрических моделей по трем вариантам – по базовым точкам, по выбранным поверхностям и по телу целиком
- Проверка проходного сечения получаемого при совмещении по проточной части лопатки

Тестирование проводилось путем обработки лопаток на шлифовальном станке с использованием коэффициентов компенсации погрешности литья. Замеры лопаток проводились в структурных подразделениях ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь. После

обработки производилась оцифровка обработанных лопаток с помощью оптической системы ATOS для анализа и контроля СПО.

Для проверки проходного сечения использовались отливки, совмещенные по базовым точкам, затем по проточной части и учитывающие площадь проходного сечения. Получившееся проходное сечение оценивалось для серии из трех отливок. Как видно, после ввода коэффициентов проходное сечение значительно приблизилось к номинальному значению.

Результаты предварительного тестирования показывают улучшение качества, как поверхности проточной части, так и проходного сечения. На сегодняшний день тестирование СПО и доработка по результатам тестирования продолжается, опыты проводятся на примере 2-ой сопловой лопатки для двигателя ПД-14.

Выводы:

а. Применение технологии глубинного шлифования базовых поверхностей сопловых лопаток турбин на пятиосевом обрабатывающем центре Magerle MFP-050.65.65 позволит производить обработку с минимальным количеством установок, лучшим качеством и с большей производительностью.

б. Благодаря использованию специального программного обеспечения станет возможным определение величин смещений и углов поворота, обеспечивающих компенсацию погрешностей литья и учета проходного сечения в лопатках.

с. Результатом совместно использования нового оборудования и СПО станет снижение разброса значений площади проходного сечения в сопловом аппарате. Как следствие, повысится КПД двигателя и снизится вероятность появления нежелательных вибраций.

Список литературы: 1. Козлов Д.А. ПД-14 создается практически всеми авиадвигателестроителями России [электронный ресурс]/Д.А. Козлов. – Режим доступа: <http://www.aviaport.ru/news/2012/04/16/233024.html>. Дата обращения: 15.10.2014. 2. Иноземцев А.А., Сандрацкий В.Л. Газотурбинные двигатели. – Пермь, 2006. – 1195 с. 3. Конструкция основных узлов двигателя ПС-90А. Учеб. пособие - 2-е изд. испр. и доп. / М.А. Нихамкин, М.М. Зальцман. Перм. гос. техн. ун-т. Пермь 2002. – 108 с. 4. В.Ф. Макаров / Современные методы высокоэффективной абразивной обработки труднообрабатываемых материалов. ПНИПУ, 2013г., -359 с. 5. Полетаев В.А., Волков Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин: библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.: ил. 6. Рекламные материалы фирмы «Mägerle». 7. Статья: ГП «Ивченко-Прогресс»: Обработка лопаток на профилешлифовальном станке фирмы Mägerle. Журнал «Промышленность в фокусе» №1 январь 2013. 8. Информация о системе ЧПУ Siemens Sinumerik: портал [Электронный ресурс] . – Режим доступа: http://iadt.siemens.ru/products/motors_drives/sinumerik/CNC_controls/840d_sl/. Дата обращения: 20.03.15. 9. ОАО «Авиадвигатель»: портал [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://www.avid.ru/>. Дата обращения: 20.03.15. 10. Техническое задание «На разработку специализированного программного обеспечения для определения величин смещений и углов поворота, для компенсации погрешности литья лопаток и учета проходного сечения», ОАО «Авиадвигатель», 2014.