

УДК 621.452.3

В. Ф. МОЗГОВОЙ, В. А. ПАНАСЕНКО, К. Б. БАЛУШОК, М. К. БИРУК*ПАО «Мотор Сич», Запорожье, Украина*

УНИФИКАЦИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ГТД НА ПЯТИКООРДИНАТНЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Рассмотрен метод подготовки управляющих программ многокоординатной обработки деталей ГТД на модернизированных пятикоординатных станках с ЧПУ. Особенность подготовки программ обработки заключается в предложенном методе параметризации управляющих программ с целью исключения необходимости пересчёта ранее рассчитанной программы по причине изменившихся технологических параметров подготовки производства, какими являются геометрические константы станка и высота станочного приспособления. Проведенные испытания работоспособности параметризованных управляющих программ показали высокую эффективность и экономичность данного метода при решении технологических задач обеспечения производства программами непрерывной пятикоординатной и позиционной обработки деталей авиационных двигателей.

Ключевые слова: трансформация, система координат, инструмент, лопатка, станок с ЧПУ, вектор нормали, позиционная обработка, радиус качания, жёсткость, шероховатость, точность обработки.

Введение

Задачей современного наукоёмкого авиационного производства является неуклонное совершенствование технологического обеспечения выполнения усложняющихся конструкторских задач при производстве деталей авиационных двигателей. Одним из приоритетов в этом направлении на ПАО «Мотор Сич» является поиск и внедрение в производство современных технологий, модернизация и капитальный ремонт оборудования с ЧПУ. Поставленная руководством предприятия задача модернизации металлорежущего оборудования с ЧПУ с особыми технологическими требованиями явилась одной из важных условий снижения затрат и повышения конкурентоспособности.

Используемое ранее оборудование с ЧПУ, в частности обрабатывающие центры, морально и физически устарели, а приобретение нового требует значительных капиталовложений. На предприятии пошли по пути модернизации существующего станочного парка, модернизовав систему управления и привода, восстановив механические узлы и гидравлику. На станки были установлены разработанные в ОКБ высокомоментные приводные столы, заменена система ЧПУ. В итоге, полученное оборудование приобрело не только первоначальные технические характеристики, но и значительно были расширены его технологические возможности.

Модернизация производится в плановом порядке. В качестве базовой системы ЧПУ была выбрана многофункциональная модульная система

ЧПУ SINUMERIK-840D [1].

Имея на предприятии несколько успешно модернизированных станков модели ИС-800, перед службой технологического программирования стал вопрос об унификации управляющих программ обработки. Задача заключалась в том, чтобы обеспечить производство управляющими программами на одни и те же модели станков без дополнительного пересчёта в зависимости от изменяющихся технологических и станочных параметров. В более широком смысле задача состояла в расширении предложенного способа унификации и использовании управляющих программ на ранее приобретённом импортном оборудовании с ЧПУ, родственном модернизированному.

1. Цель работы

Разработать метод генерирования через пост-процессор управляющих программ 5-ти координатной непрерывной и позиционной обработки деталей ГТД на модернизированных 5-ти координатных обрабатывающих центрах класса ИС-800, оснащённых системой ЧПУ Sinumerik-840D.

Предложенный метод должен исключать в дальнейшем необходимость пересчёта управляющих программ в САМ-системе при непрогнозируемом изменении станочных и технологических параметров обработки. Созданная унификация управляющих программ на ПАО «Мотор Сич» решает вопрос не только по сокращению сроков подготовки УП на модернизированное оборудование, но и обеспечивает совершенствование эксплуатации ранее

поставленного импортного оборудования с ЧПУ, не имеющего современного программного обеспечения системы ЧПУ в области пятикоординатных внутренних преобразований.

2. Результаты экспериментальных исследований

Необходимо отметить, что рассматривается пятикоординатная и позиционная обработка (3+2) деталей, примерами которой могут служить моноколёса, центробежные колеса, корпуса с наклонными плоскостями и т. д.

Современное оборудование с ЧПУ, предназначенное для многокоординатной обработки деталей, характеризуется мощным вычислительным модулем, которым является система ЧПУ станка. Внешние и внутренние преобразования системы ЧПУ Sinumerik-840D современных станков при 5-ти осевой обработке обеспечивают выполнение специфических функций, характерных для многоосевой обработки. Одной из таких функций является функция трансформации 5-ти осевой обработки - TRAORI.

Применение 5-осевой трансформации позволяет компенсировать движения инструмента во время обработки, которые получаются в результате изменения ориентации, с помощью соответствующих компенсационных движений геометрических осей. Ориентационные движения разделены от движений по контуру детали. Это позволяет ориентировать инструмент в любом нужном положении в каждой точке рабочей зоны. Расчет также включает автоматическую компенсацию длины инструмента. Далее кинематическая трансформация преобразует эту информацию в команды движения реальных осей станка.

Непременное условие - это станок, который может контролировать движение инструмента одновременно в 5-ти осях. Обычно это три линейные оси X, Y, Z, плюс дополнительно две круговые оси, которые и характеризуют 5-ти координатный станок в целом (рис. 1).

Ориентация инструмента при программировании перемещений описывается стандартными средствами языка программирования системы ЧПУ Sinumerik-840D и задаётся непосредственно в кадрах УП. Применение обычных методов программирования без функции TRAORI не связывает взаимные перемещения линейных и круговых осей в единое целое при изменении одного из компонентов управления. В результате, движения исполнительных механизмов станка формализованы в пространстве (рис. 2), зависят от кинематики станка и величин компонентов. Программа становится "жёсткой".

Функция трансформации TRAORI в реальном

времени осуществляет преобразования при одновременном движении 5-ти осей. В этом случае, сгенерированная программа не зависит от кинематики станка и величин компонентов.

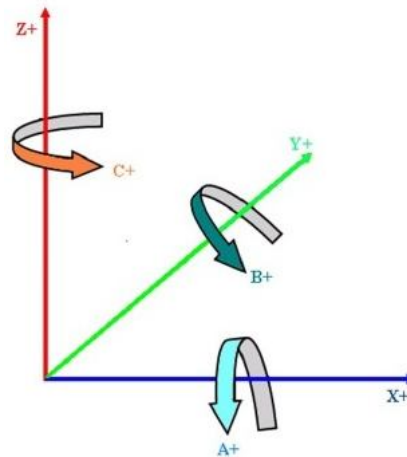


Рис. 1. Оси 5-ти координатного станка

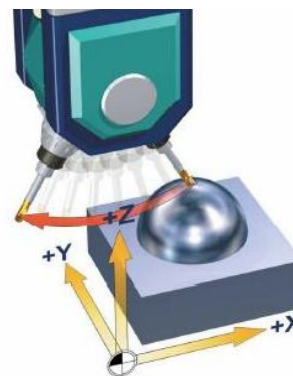


Рис. 2. Движение инструмента без функции TRAORI

Управляющая программа, как правило, содержит следующие данные:

- линейные координаты, которые необходимо достичь вершине инструмента X, Y и Z;
- фактические позиции осей A, B, C, по отношению к детали.

Когда в УП трансформация включена, позиции осей X, Y, Z всегда относятся к вершине инструмента. Изменение позиций круговых осей, участвующих в трансформации, приводит к компенсационным движениям линейных осей станка, таким образом, чтобы позиция вершины инструмента относительно детали была неизменной (рис. 3).

Данная технология реализована на всех современных 5-ти координатных станках с ЧПУ, оснащённых системой Sinumerik. Функция TRAORI включена в стандартный пакет программного обеспечения системы ЧПУ Sinumerik-840D пятиосевой обработки. Она эффективно используется техноло-

гами-программистами при подготовке управляющих программ обработки деталей на хорошо зарекомендовавших себя 5-ти координатных станках фирм HURON, HERMLE [2].

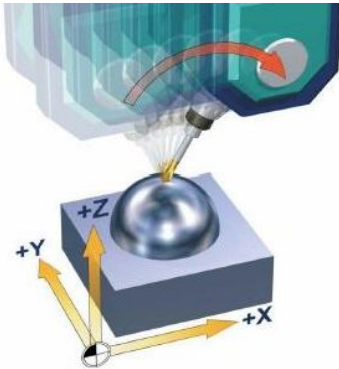


Рис. 3. Движение инструмента с функцией TRAORI

Удобство подготовки программ с применением функции TRAORI состоит ещё и в том, что технолог не нужно учитывать в расчёте высоту приспособления и геометрические размеры взаимного расположения круговых столов станка. Технолог рассчитывает управляющую программу относительно нулевой точки программирования, находящейся на опорном торце приспособления и совпадающей с опорным технологическим торцом детали или в любой другой удобной для него точке.

Нулевая точка программирования при 5-ти осевой обработке не обязательно должна быть неподвижной в пространстве, как ранее требовала классическая схема расчёта.

При настройке оборудования наладчик переносит ноль станка в выбранную технологом нулевую точку программирования, вносит на пульте ЧПУ соответствующие смещения базы по G54, а учёт геометрических размеров радиусов качания столов учитывается внутренними преобразованиями процессора через функцию TRAORI в управляющей программе (рис. 4).

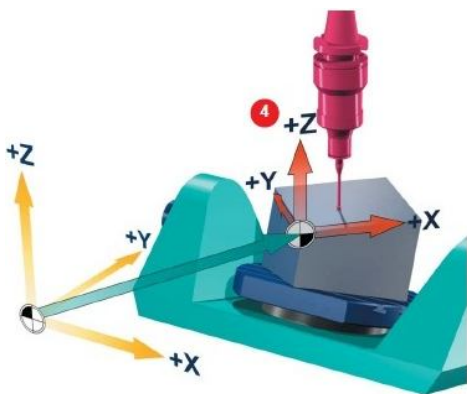


Рис. 4. Настройка станка с функцией TRAORI

Для того чтобы избежать столкновения на станке во время обработки, функция TRAORI позволяет зафиксировать точку относительно поверхности детали и следовать вершиной инструмента за ней при повороте столов.

В качестве базовой модели для модернизации был предложен 3-х координатный обрабатывающий центр ИС-800. Этот тип станка включает несколько моделей станков похожих по кинематической схеме: ИР-500, ИС-500, ИР-800. В ходе модернизации на этот станок были установлены высокомоментные поворотные столы, разработанные и изготовленные в ОКБ предприятия (рис. 5) [3].

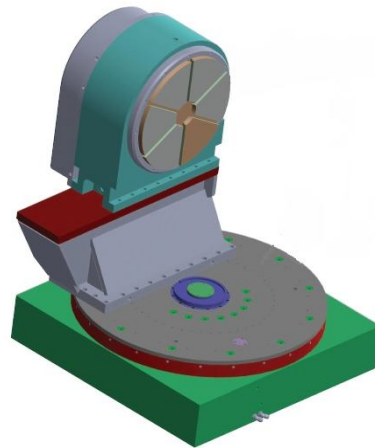


Рис. 5. Высокомоментные поворотные столы

Трёхкоординатный станок после модернизации и замены системы ЧПУ приобрёл статус 5-ти координатного. На модернизированных станках ИС-800, где через систему ЧПУ не реализован режим трансформации TRAORI, при создании УП технолог программисту приходилось учитывать расстояние от оси вращения горизонтального стола до зеркала вертикального стола (назовём его R21 - "PIVOT_OFFSET"), а также высоту приспособления (назовём её R22) (рис. 6).

Это, так называемая, классическая схема расчёта управляющих программ на 5-ти координатное оборудование. Нулевая точка программирования (точка M) в таком случае должна быть обязательно неподвижной в пространстве при всех движениях стола "B".

Расчёт движения инструмента в САМ-системе осуществлялся относительно этой точки. При внеплановом или плановом изменении величин R21 или R22 происходит смещение заготовки в пространстве вдоль оси поворотного стола "A". Именно по этой причине ранее рассчитанные управляющие программы необходимо было пересчитывать с учётом изменившихся значений. Данная технология работы была очень громоздкой.

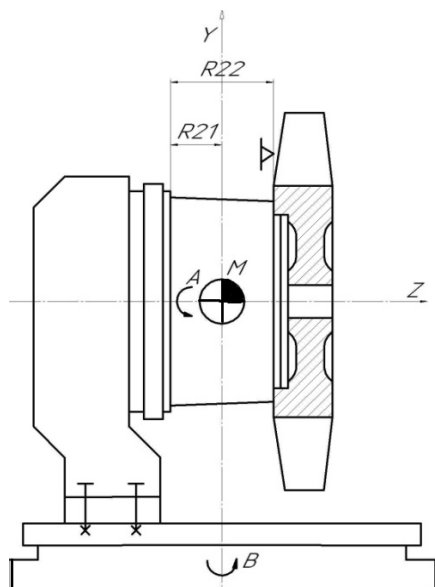


Рис. 6. Система координат программирования при классической схеме расчёта:
R21 – параметр PIVOT OFFSET;
R22 – высота приспособления.

Практика показала, что необходимость пересчёта программ возникает довольно часто, так как после каждого ремонта станка и его последующей настройки, параметр R21 изменяется. Также, если взять другое приспособление (параметр R22), высота которого хотя бы на сотые доли миллиметра не совпадает с первым, УП также необходимо было пересчитывать с учётом новой величины.

Ко всему прочему, даже на нескольких станках одной модели параметр R21 – “PIVOT OFFSET” – есть величина переменная, и программу нельзя было переставить со станка на станок без пересчёта. Программы были не взаимозаменяемые.

Пересчёт одних и тех же УП на разные станки одной модели с разными станочными константами представлял очень трудоёмкий процесс и был сопряжён с возможными ошибками.

Для минимизации трудозатрат и исключения возможных механических ошибок при вынужденных пересчётах программ специалисты отдела программирования станков с ЧПУ Управления главного технолога ПАО “Мотор Сич” предложили новый формат УП под систему ЧПУ Sinumerik-840D.

Предложенный формат полностью решал проблему взаимозаменяемости управляющих программ, которые перестали быть зависимы от параметров настройки станка R21 и высоты приспособления R22. Новый метод расчёта хотя и не обладал в полной мере всеми характеристиками, присущими “фирменной” функции TRAORI, однако позволил унифицировать программы и отказаться от трудоёмкого пересчёта при передаче УП со станка на станок.

На модернизированных обрабатывающих центрах ИС-800 с системой ЧПУ Sinumerik-840D в одном из механических цехов предприятия был опробован и отлажен математический модуль, отвечающий за правильность интерпретации параметризованных программ обработки.

В результате автоматизации через разработанный постпроцессор в кадрах УП выводились математические вычисления, учитывающие при качаниях столов параметры R21 и R22. При эксплуатации такого вида программ численное значение “PIVOT OFFSET” и высота приспособления (параметры R21 и R22) вводились наладчиком непосредственно на стойку ЧПУ станка перед обработкой детали. Численные значения этих величин наладчик измерял самостоятельно доступными средствами контроля прямо на станке перед обработкой детали или раньше.

Расчёт траектории движения режущего инструмента выполнялся относительно нулевой точки программирования расположенной на опорном технологическом торце детали (рис. 7), т.е. на опорной поверхности приспособления. Расчет, заложенный в УП, позволял сместить базу на нужную величину.

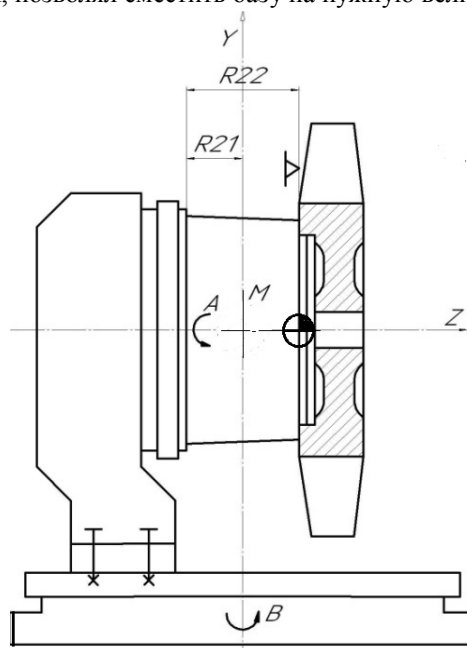


Рис. 7. Система координат программирования при новом методе расчёта

Предложенная технология работы позволила на качественно новом уровне подойти к решению актуальной задачи взаимозаменяемости управляющих программ на разные станки одной модели.

После проведенных испытаний и внедрения новой технологии подготовки УП отпала необходимость в пересчёте программ на 5-ти координатное оборудование, вводимое в эксплуатацию после текущего или капитального ремонта.

Управляющие программы можно свободно "переносить" со станка на станок одного типа, и не только! При совпадении осей координат программирования на станках разных моделей, отлаженная и внедренная программа на одном станке, способна работать и на другом. Только подходить к решению этой задачи необходимо с большим вниманием, поскольку на разных станках может отличаться начальные и конечные кадры программы, но это уже совсем другая область применения средств автоматизации, которая зависит от особенностей программирования на данный станок.



Рис. 8. Пятикоординатный станок ТВ-1005 фирмы ЛІЕСНТІ

В производственных цехах ПАО "Мотор Сич" успешно эксплуатируются пятикоординатные обрабатывающие центры фирмы ЛІЕСНТІ ТВ-1005 (рис. 8). Эти станки и модернизированные станки ИС-800 (рис. 9) имеют схожую кинематическую схему. Это позволило за счёт применения на двух станках фирмы ЛІЕСНТІ, не имеющих функции TRAORI, параметризации управляющих программ, обеспечить взаимозаменяемость УП. Ранее на эти станки программы рассчитывались независимо друг от друга – на один и на другой станок отдельно.

Благодаря применению параметризации управляющих программ, стало возможным переносить программы со станка на станок, не опасаясь, что параметры станочных констант разные.

Совершенствуя разработанную стратегию расчёта, специалисты отдела программирования станков с ЧПУ также разработали автоматизацию перевода любой ранее рассчитанной УП без параметров в новый формат, поддерживающий параметризацию. Благодаря этому, были значительно сокращены сроки подготовки управляющих программ обработки деталей на обрабатывающих центрах.



Рис. 9. Модернизированный 5-ти координатный станок ИС-800 с системой ЧПУ SINUMERIK-840D



Рис. 10. Рабочая зона модернизированного 5-ти координатного станка ИС-800

Заключение

Рассматривая новые инновационные подходы к решению производственных и технологических задач, полученный положительный эффект от внедрения прогрессивных методов расчёта позволил поднять на качественно новый уровень эксплуатацию модернизированного оборудования с ЧПУ и доказал перспективность постоянного совершенствования методов подготовки управляющих программ пятикоординатной обработки.

Литература

1. Бурма, А. Ф. Изготовление, модернизация и ремонт обрабатывающих центров, станков с ЧПУ и другого оборудования на АО "Мотор Сич" [Текст] / А. Ф. Бурма // *Промышленность в Фокусе*. – 2013. – Т.5, №9. – С. 30- 37.

2. Панасенко, В. А. АО "Мотор Сич": интел-

лектуальный и производственный потенциал - гарант успеха предприятия [Текст] / В. А. Панасенко // *Промышленность в Фокусе*. – 2013. – Т.5, № 9. – С. 49- 51.

3. Столы программно-поворотные и системы круговых осей [Текст] : справ. – Запорожье : АО Мотор Сич, 2013. – 23 с.

Поступила в редакцию 5.04.2014, рассмотрена на редколлегии 14.06.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. технология авиационных двигателей А. Я. Качан, Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина.

УНІФІКАЦІЯ КЕРУЮЧИХ ПРОГРАМ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ ГТД НА П'ЯТИКООРДИНАТНИХ ВЕРСТАТАХ З ЧПК

В. Ф. Мозговой, В. О. Панасенко, К. Б. Балушок, М. К. Бирук

Розглянуто метод підготовки керуючих програм багатокординатної обробки деталей ГТД на модернізованих п'ятикоординатних верстатах з ЧПК. Особливість підготовки програм обробки полягає в запропонованому методі параметризації керуючих програм з метою виключення необхідності перерахунку раніше розрахованої програми з причини змінених технологічних параметрів підготовки виробництва, якими є геометричні константи верстата і висота верстатного пристосування. Проведені випробування працездатності параметризованих керуючих програм показали високу ефективність і економічність даного методу при вирішенні технологічних завдань забезпечення виробництва програмами безперервної п'ятикоординатної і позиційної обробки деталей авіаційних двигунів.

Ключові слова: трансформація, система координат, інструмент, лопатка, верстат з ЧПК, вектор нормалі, позиційна обробка, радіус гойдання, жорсткість, шорсткість, точність обробки.

UNIFICATION OF OPERATING PROGRAMS OF PROCESSING DETAILS TURBINE ENGINE ON FIVE-COORDINATE MACHINE CNC

V. F. Mozgovoj, V. A. Panasenko, K. B. Baluchok, M. K. Biruk

The method of preparation of operating programs of multicoordinate processing of details turbine engine on the modernised five-co-ordinate machine tools with CNC is considered. Feature of preparation of programs of processing consists in the offered method of parametrization of operating programs for the purpose of an exception of necessity of recalculation before the calculated program because of the changed technological parametres of preparation of manufacture what geometrical constants of the machine tool and height of machine adaptations are. Tests have health parameterized control programs have shown high effectiveness and efficiency of this method for solving technological problems to ensure continuous production programs and positional five-axis machining of aircraft engine parts.

Key words: programe, monowell, machin CNC, programiring, strategie manufacturing, accuracy of processing, adaptation, parametrs.

Мозговой Владимир Фёдорович – канд. техн. наук, Главный технолог, ПАО "Мотор Сич", Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Панасенко Валерий Александрович – нач. отд. программирования станков с ЧПУ УГТ, ПАО "Мотор Сич", Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Балушок Константин Брониславович – канд. техн. наук, зам. Гл. технолога, ПАО "Мотор Сич", Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.

Бирук Михаил Карпович – инженер-программист УГТ, ПАО "Мотор Сич", Запорожье, Украина, e-mail: ugt@motorsich.com.