

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ ОСЕЙ В КИНЕМАТИЧЕСКИХ СХЕМАХ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ СТАНКОВ

Г.В. Черников, М.В. Сонных (ООО «БошРексрот»)

Показано, что кинематическая схема станка создается под основной набор технологий обработки (подводов, углов резания) типовых деталей. При решении прикладных задач может потребоваться модернизировать станок и использовать комбинацию нескольких кинематических схем. Рассмотрен пример реализованного проекта, в рамках которого выполнена интеграция кинематических схем трех осевого фрезерного станка и робота Kuka.

Ключевые слова: трансформация осей, кинематическая схема, система координат осей станка, система координат детали, система ЧПУ.

Основная проблема при программировании пространственных движений сложных кинематических систем, таких как робот, станок – это приведение движений основного инструмента в понятный и предсказуемый для восприятия человеком вид.

Речь идет о кинематике станка, которая состоит из нескольких линейных и вращательных осей. Движения каждой оси в системе координат осей станка отдельно достаточно просты и легко представляемы. Совместное же движение осей станка может дать практически непредсказуемую траекторию основного инструмента с точки зрения восприятия обычного человека, так как это будет геометрическая сумма вращений и линейных перемещений некоторых звеньев. Для Системы ЧПУ, которая выполняет программу, написанную в системе координат осей станка естественно нет никаких трудностей – она не оценивает и не корректирует программный код, только вырабатывает управляющие

воздействия на осевые приводы станка в соответствии с программой. Человек же, который занимается коррекцией траекторий, должен представлять не только саму траекторию движения, но и понимать как именно эта траектория выглядит в программном коде и как именно те или иные изменения в коде повлияют на реальные движения. В связи с этим человеку необходимо работать с более понятной системой координат, например с прямоугольной, начало которой расположено, в заданной точке детали, а в , а движения по координатам – это движения основания крепления инструмента. Движение инструмента принципиально, ведь именно инструмент своей поверхностью будет воздействовать на деталь, и человеку нужно описать движение этого инструмента относительно поверхности детали. В идеальном случае это должно происходить без лишних размышлений о перемещениях отдельных осей. Осями управляет настроенная заранее СЧПУ. Кроме того, практика показывает, что программа, написанная в системе координат детали, в разы меньше, чем если бы она была написана в системе координат осей станка. И заданного качества поверхности при обработке можно добиться гораздо быстрее, так как основные режущие направления формируются не на уровне пользовательской программы, а рассчитываются ядром ЧПУ. Использование координат детали открывают перед пользователем возможности использовать так называемую объемную коррекцию геометрии режущего инструмента без изменения тела программы, что на порядок упрощает работу со станком.

Для приведения движений осей станка в движение инструмента в прямоугольной системе координат ЧПУ должна «понимать» кинематику станка, то есть должен существовать механизм трансформации осей сданной кинематикой.

В общем случае кинематическая схема станка создается под основной набор технологий обработки (подводов, углов резания) типовых деталей (формы) для обработки на нем. Таких схем достаточно много, и найти СЧПУ, способную работать с конкретной кинематикой, может оказаться затруднительно.

Рассмотрим прикладную задачу проектирования станка, позволяющего отфрезеровать объемную деталь – пресс-форму для шин большегрузного транспорта с диаметром более 1000 мм и со сложным профилем. Создание пресс-формы предполагает за-

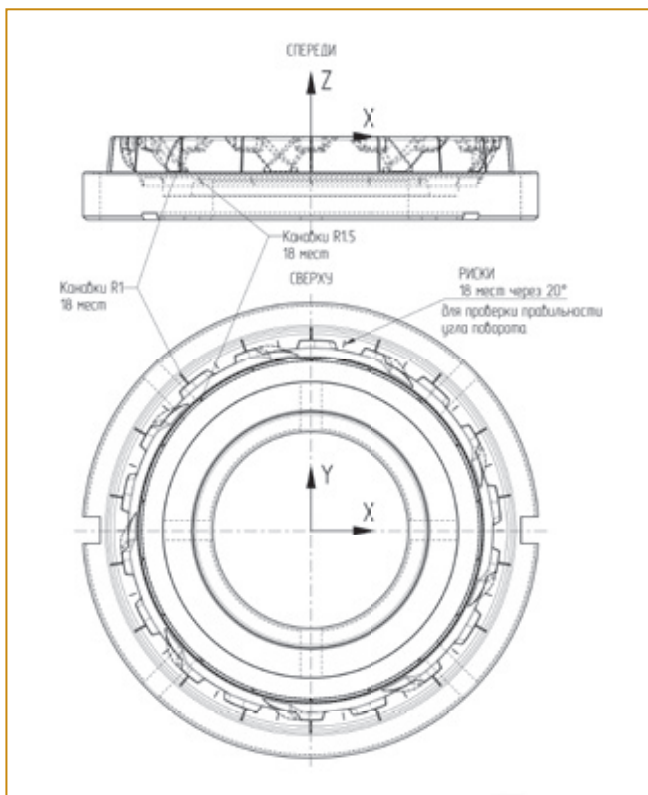


Рис. 1. Общий эскиз детали и ее система координат (из технического задания заказчика)

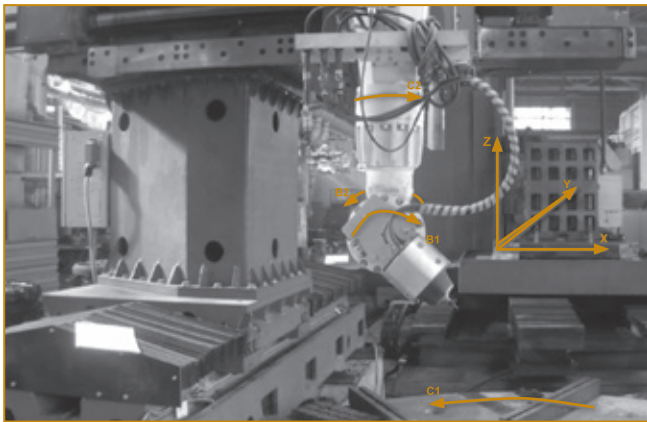


Рис. 2. Оси станка

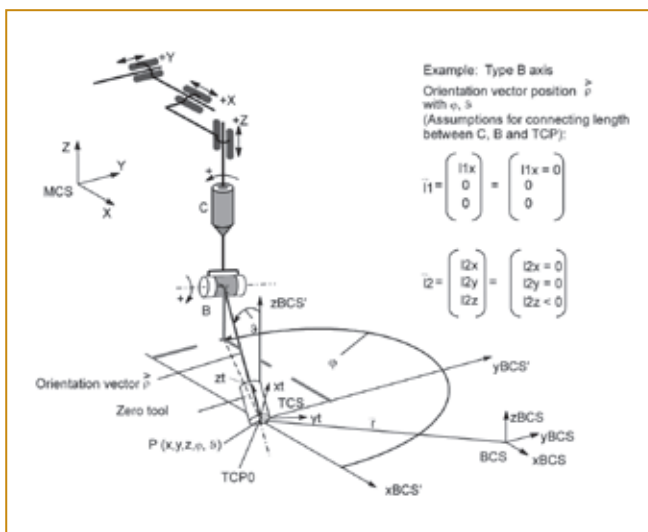


Рис. 3. Кинематическая схема LLLRR 3232201
(док. «функциональное описание СЧПУ»)

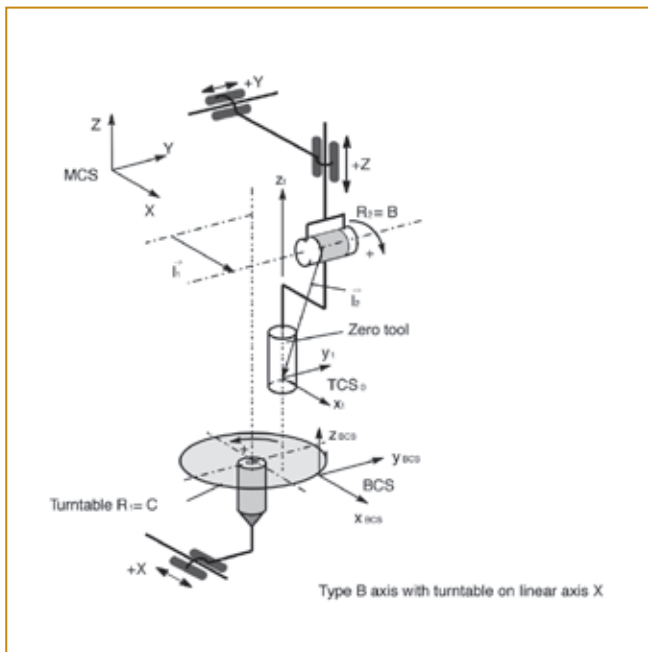


Рис. 4. Графическое объяснение коррекции геометрии инструмента при кинематической схеме RLLLR 3232202
(док. «функциональное описание СЧПУ» R911342628).

ходы инструмента в заготовку под разными углами, а требования по точности обработки составляют 0,03 мм (рис. 1).

Оценка геометрии детали и технологии ее обработки показала, что для ее обработки в один установ станок должен соответствовать минимум двум кинематическим пяти осевым схемам: LLLRR (все оси на самом манипуляторе) и RLLLR (оси на манипуляторе и со столом). Набор этих осей позволит исполнить обрабатываемые движения по поверхности детали. При этом манипулятору хватит степеней подвижности и достижимости, чтобы отфрезеровать деталь. А использование пяти осевой интерполяции позволит удовлетворить требованиям по скорости и качеству обработки.

Обе выбранные кинематические схемы поддерживаются младшей серией СЧПУ Bosch Rexroth MTX micro, опыт работы с которой на стороне машиностроителя уже имеется, правда в более простых реализациях. Настораживала предполагаемая необходимость использования (пусть и попеременно) сразу двух трансформаций, и обе из них должны быть пятиосевыми. Одна — вместе со столом должна выполнять обработку относительно больших поверхностей и работать по всему объему детали; другая, без стола — фрезерование надписей в границах небольшого сектора детали.

Требуемая задача была решена за счет комбинации стандартного трехосевого фрезерного станка и модифицированной части манипулятора промышленного робота KUKA125/150, которые должны заработать вместе в едином контуре интерполяции. Такое оригинальное применение модульного подхода в проектировании позволило в условиях ограниченности материальных и временных ресурсов найти действительно технологичное и недорогое решение (рис. 2).

Параллельно оценивались 19 кинематических схем (и их подтипы), с которыми может работать СЧПУ MTX micro, что и выявило те две пяти осевые, которые подходили под новый станок (рис. 3 и рис. 4). Был сделан вывод, что трансформации смогут быть настроены и отработаны должным образом. Отметим, что у более старших моделей систем ЧПУ семейства MTX от Bosch Rexroth поддерживаемых кинематических схем еще больше.

Система MTX micro достаточно проста в освоении, готова к работе на стадии поставки, имеет моноблочную компоновку с четырьмя встроенными приводами и может работать еще с дополнительными восемью, включая способность выполнять пяти осевую интерполяцию в канале.

Оставалось решить вопрос: как быть с достаточно большими основными осями станка — MTX micro не обладает в своей базе приводами, способными управлять столь мощными моторами.

Было решено применить дополнительные приводы и распределить их вместе со встроенными по осям станка в соответствии с топологией рис. 4. При этом отметим, что с точки зрения

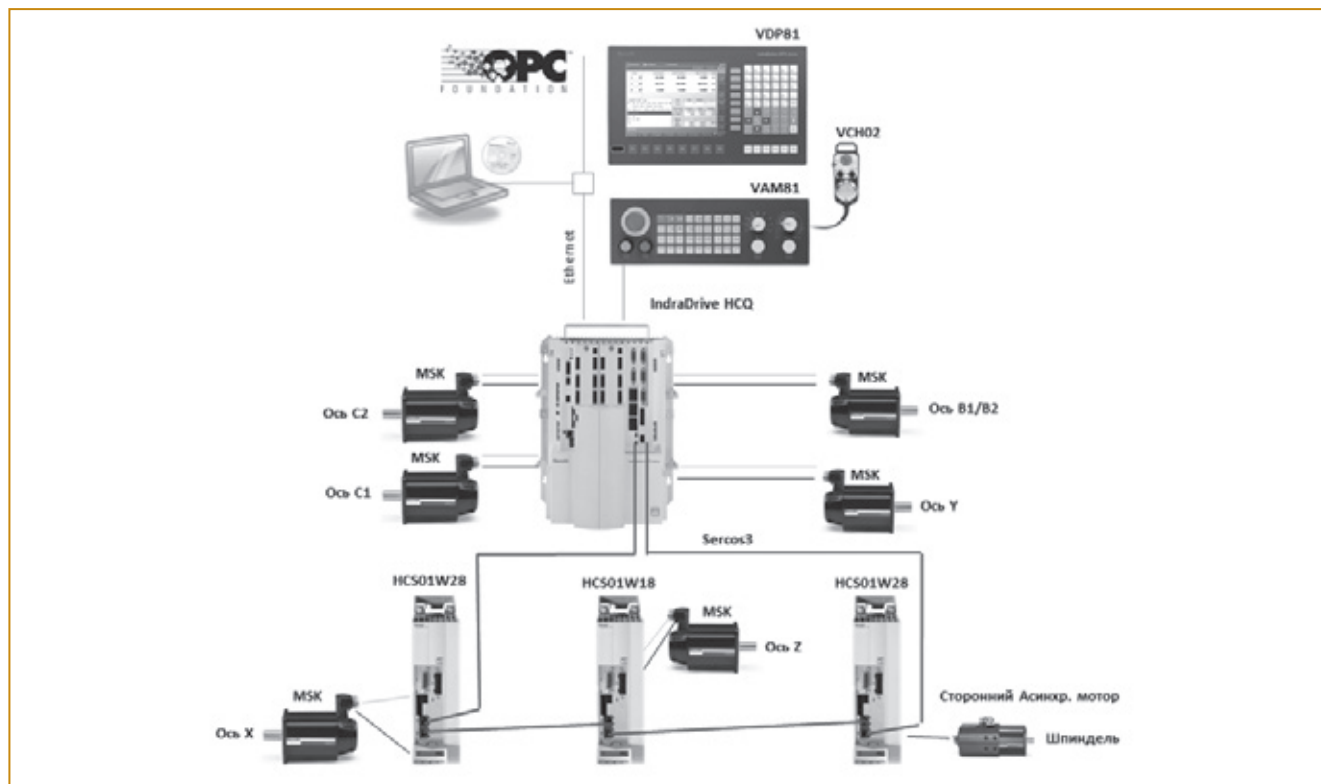


Рис.5. Топология СЧПУ Bosch Rexroth MTXmicro с осями станка

Фрагмент программы управления станком

```

....
N060 G90 G1 F1000 X1307.25 Y-489.92 B1=-1.85 C1=11.85;
ДВИЖЕНИЕ В СК ОСЕЙ СТАНКА
N070 COORD(1); ВКЛЮЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ "TABLE"
(RLLLR) ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВСЕЙ ДЕТАЛИ
...
N120 G47(,YTR,); ВКЛЮЧЕНИЕ КОРРЕКЦИИ НА
ГЕОМЕТРИЮ ИНСТРУМЕНТА
N135 G91 F1550 G1 y12.000; НАЧАЛО ДВИЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ
КООРДИНАТ ДЕТАЛИ
N145 x27.378 z4.822 phi1.12 theta5.78
N150 x27.489 z4.722 phi2.09 theta5.08
N155 x27.802 z4.641 phi3.29 theta4.78
...
N1165 COORD(0); ВЫКЛЮЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ
N1170 G90 G1 F1000 X1300.0 Y-500.0 B1=90.0 C1=180.0; ВНОВЬ
ДВИЖЕНИЯ В СК СТАНКА
...
N2000 COORD(2); ВКЛЮЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ "WRIST"
(LLLR) ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕКТОРА ДЕТАЛИ
N2005 x38.378 z4.00 phi91.17 theta59.34
N2010 x39.489 z3.07 phi92.10 theta58.29
N2015 x39.802 z2.01 phi93.51 theta49.71
...
N3420 COORD(0); ВЫКЛЮЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ
N4000 G90 G1 F1000 X1307.25 Y-489.92 B1=-1.85 C1=11.85;
ВОЗВРАТ В НАЧ.ТОЧКУ В СК СТАНКА
...
N4070 M30; КОНЕЦ ПРОГРАММЫ
    
```

машинных параметров и конфигурирования системы разделение на внешние и внутренние приводы является достаточно условным, и принципиальной разницы для СЧПУ, какой привод образует ту или иную ось или шпиндель нет.

Все это подтвердило выбор в пользу СЧПУ MTX micro.

Настройка трансформаций осей свелась к выбору их типов, вводу геометрических параметров осей станка в соответствующие параметры СЧПУ, обозначение функциональности каждой из осей станка, определение референсной позиции. Трансформация LLLRR использовала оси станка X, Y, Z, B2 и C2, в трансформации RLLLR участвуют оси C1 (стол), X, Y, Z, B1 (рис. 5).

Обрабатывающие программы для данного проекта создавались в CAD-CAM PowerMill для системы координат движения инструмента относительно детали и с использованием объемной коррекции на геометрию инструмента (длины и углы инструмента). Встроенный в CAD-CAM постпроцессор настроен под систему команд MTX micro. На врезке приведен фрагмент программы обработки, которая содержит: включение трансформации, изменения координатных осей, работу в новой системе координат, выключение трансформации – возврат к системе координат станка; работа уже с включением второй трансформации. Предполагаемые сложности по использованию двух трансформаций при апробации не проявились.

В дальнейшем на практике сделанный выбор был успешно подтвержден (рис. 6), на очереди более масштабный проект тоже с СЧПУ MTX micro [1, 2].

Данный практический пример показывает, что широкий набор трансформаций осей позволяет работать даже с условно-произвольными кинематическими схемами. Можно создавать оригинальные станки, с одной стороны, под конкретные детали, с другой – используя стандартизированные модульные компо-



Рис.6. Обработка детали

новки, основанные на комбинации ранее опробованных кинематических схем в единую многоосевую кинематическую схему. При этом сохраняются достаточно простые, проверенные и открытые подходы в настройках самой СЧПУ и ее программировании на уровне пользователя. Отметим, что СЧПУ MTX micro — бюджетная модель, но способная выполнять широкий

спектр задач. При этом она является открытой и глубоко масштабируемой системой.

Такие возможности, как on-line коррекция, измерительные циклы, сплайны, управление инструментом, трансформация осей очень важны при разработке различных типов оборудования под совершенно разные задачи. Кроме этих инструментов имеется ряд других, не менее интересных и расширяющих спектр применения СЧПУ MTX. Каждый раз все зависит от конкретных задач.

Список литературы

1. Сонных М.В., Черников Г.В. Возможности систем ЧПУ MTX micro от компании Bosch Rexroth для автоматизации стандартных металлорежущих станков // Автоматизация в промышленности. №5. 2015.
2. Барышиников А.В., Светлов Д.О., Сонных М.В. Системные решения Bosch Rexroth для автоматизации производственной линии полного цикла предварительной обработки пальцев поршневых групп ДВС // Автоматизация в промышленности. №5. 2017

Авторы выражают благодарность Дмитрию Радиевичу Черкасову (г.Ярославль) за качественные комментарии и значимые рекомендации.

Черников Георгий Валериевич, Максим Владимирович Сонных - ООО «Бош Рексрот». Контактный телефон +7 (495) 560-96-35.

Исследования и разработки в области гомоморфного шифрования

Глобальная технологическая компания Nasdaq, работающая на рынке ценных бумаг и в других отраслях экономики, использует встроенные функции ускорения криптографических операций семейства процессоров Intel® Xeon® Scalable 3-го поколения с тем, чтобы значительно повысить скорость вычислений своих высокопроизводительных приложений гомоморфного шифрования (Homomorphic Encryption, HE).

Гомоморфное шифрование — это новый мощный инструмент, который открывает клиентам доступ к ценной информации, одновременно обеспечивая защиту критически важных и конфиденциальных данных. Корпорация Intel продолжает внедрять новые расширения в набор инструкций вычислительной архитектуры, призванные значительно повысить производительность криптографических операций и обеспечить дальнейшее развитие HE-экосистемы. Гомоморфное шифрование дает возможность пользователям производить вычислительные операции непосредственно с зашифрованными данными. При этом декодировать их совершенно не требуется, что снижает риск киберугроз.

Гомоморфное шифрование предоставляет разработчикам и компаниям новые способы извлечения ценной информации из конфиденциальных данных, а платформа Intel обеспечивает более высокую производительность для поддержки сквозного шифрования данных. Для ускорения работы приложений гомоморфного шифрования Intel и Nasdaq совместно разрабатывают методы HE-вычислений, используя реализованное в процессорах Intel® Xeon® Scalable 3-го поколения новое расширение набора векторных команд Advanced Vector Extensions (AVX) 512 — Integer Fused Multiple Addability Instructions (AVXS12_IFMA).

Тестируя работу гомоморфного шифрования в реальных задачах, Nasdaq анализирует разнообразные сценарии подтверждения его эффективности. Например, с его помощью компания улучшила качество подготовки наборов данных для

искусственного интеллекта и систем машинного обучения. Более того, гомоморфное шифрование помогает Nasdaq в борьбе с различными финансовыми преступлениями. Возможность оперировать конфиденциальными данными без доступа к их содержанию позволяет участникам процесса совместными усилиями консолидировать разрозненные наборы данных в единый пакет для анализа и выявления деятельности, которая потенциально может быть связана с финансовыми преступлениями.

Гомоморфное шифрование — это новая мощная технология, позволяющая обрабатывать и совместно работать с конфиденциальными и критически важными данными, используя сквозное шифрование. HE может вызвать революционные изменения в методах работы финансовых учреждений с массивами данных и обмена ими для дальнейшего анализа, обеспечивая организациям возможность извлечения из них ценной информации, одновременно снижая риски раскрытия конфиденциальных данных.

Надежные среды выполнения, такие как Intel® Software Guard Extensions (Intel® SGX), также позволяют защищать данные при их обработке в памяти, хотя и несколькими иными методами. Intel SGX позволяет создавать надежные аппаратные анклавы для выполнения в них задач общего характера и защиты как данных, так и программного кода от доступа к ним других системных процессов извне, не оказывая существенного влияния на производительность.

По мере решения вопросов, связанных с производительностью и удобством использования, гомоморфное шифрование сможет предоставить новые возможности сквозного шифрования, особенно в специализированных решениях для совместного использования данных. И это — новый этап и одновременно широкое поле для инноваций, поскольку атаки становятся все более изощренными, а нормативные требования — все более строгими.

[Http://www.intel.com](http://www.intel.com)