

УДК 621.7

Построение специализированной системы ЧПУ для пятикоординатного строгально-фрезерного обрабатывающего центра*

д.т.н. Г. М. Мартинов, к.т.н. Н. В. Козак

// МГТУ «СТАНКИН», 127055, г. Москва, Вадковский пер., д. 1. E-mail: martinov@ncsystems.ru

Аннотация. Рассмотрены архитектурное решение и конструктивные особенности системы ЧПУ обрабатывающего центра мод. Э7106МФ4 для комплексной пятикоординатной механической обработки методом объемного силового строгания. Представлена программная организация подсистемы электроавтоматики. Показаны практические аспекты реализации системы управления. **Ключевые слова:** система ЧПУ, строгально-фрезерный обрабатывающий центр, многокоординатная обработка, функции электроавтоматики станка, интерфейс ЧПУ — ПЛК.

Abstract. The paper discusses the architectural solution and some design peculiarities of Э7106МФ4-model machining center NPC (Numerical Program Control) system intended for the unified 5-axis machining performed by 3D power planing method. It also presents the software arrangement of relay ladder logic subsystem. Some practical aspects of the control system implementation have been shown. **Keywords:** NPS system, planing and milling machining center, multiaxis machining, relay ladder logic functions, interface NPC — PLC.

Использование специализированных алгоритмов для новых технологий обработки материалов резанием требует от системы ЧПУ гибкости механизмов программирования и настройки [1]. Стругание — производительная и точная технология удаления припуска с обрабатываемой детали. Здесь скорость относительного перемещения резца и заготовки может соответствовать оптимальной скорости резания для взаимодействующей пары: инструмента и обрабатываемой заготовки. Высокая точность процесса обработки строганием определяется тем, что обрабатываемую поверхность формируют режущие кромки резца, положение которых относительно заготовки определяет система ЧПУ.

Эффективность технологии обработки строганием определяют многократным повышением производительности при удалении припуска и дешевым,

простым режущим инструментом. В настоящее время появились технические решения в конструкции станков с ЧПУ, обеспечивающие достижение необходимых технологических значений скорости резания, ускорения и силы, действующих в направлении вектора скорости резания [2].

Стругально-фрезерный обрабатывающий центр мод. Э7106МФ4 предназначен для комплексной пятикоординатной механической обработки методом объемного силового строгания, а также для четырехкоординатной фрезерной обработки. Специализация станка — обработка сложнопрофильных деталей (штампов и пресс-форм) из термически упроченных сталей, а также обработка деталей из стали, чугуна и алюминиевых сплавов. Станок создан научно-исследовательским институтом ЭНИМС, МГТУ «СТАНКИН» (г. Москва) и ЗАО «СТАНКОТЕХ» (г. Коломна) и оснащен специализированной отечественной системой ЧПУ, построенной на основе базовой управляющей платформы «АксиОМА Контроль» (разработка МГТУ «СТАНКИН» [3 и 4]).

Отличительные особенности станка: расширенные функции контроля ориентации и износа инструмента, качества обработки заготовок; использование механизма смены инструментов; использование поворотной шпиндельной головки с гидравлической фиксацией осей; использование высокоскоростного шпинделя.

Архитектурное решение

и конструктивные особенности системы ЧПУ

Конструкция строгально-фрезерного обрабатывающего центра мод. Э7106МФ4 (рис. 1) выполнена исходя из требований жесткости; его техническая характеристика приведена ниже.

* Работа выполнена в рамках программы государственной поддержки ведущих научных школ: НШ-3890.2014.9 и при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

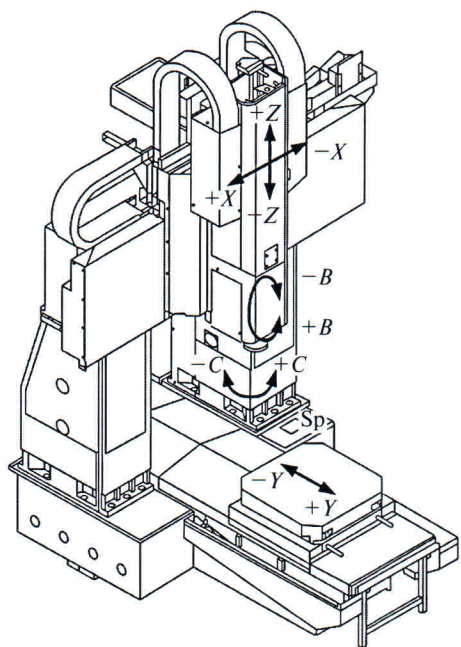


Рис. 1. Кинематика строгально-фрезерного обрабатывающего центра мод. Э7106МФ4

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Класс точности по ГОСТ 30027—93	П
Размеры стола, мм: длина × ширина	250 × 400
Перемещения, мм: ось X; ось Y; ось Z	500; 320; 250
Максимальная скорость по линейным координатам, м/мин	40
Ускорение по линейным координатам	2g
Поворот по координате B, градус	±90
Максимальная скорость при строгании по координате C, град/мин	500
Частота вращения шпинделя при фрезеровании, мин ⁻¹	1000—800
Максимальное усилие строгания по оси X, кг	2000
Погрешность обработки деталей, мкм	8
Дискретность перемещений:	
по координатам X, Y, Z, мм	0,001
по координате C, с	1,8
Число инструментов в магазине, шт.	24

Для реализации заявленного метода обработки станок имеет три линейных движения (по осям X, Y и Z), которые обеспечивают перемещения со скоростью не ниже 40 м/мин и ускорением около 2g, а также обеспечивают усилие, достаточное для снятия припуска при обработке строганием (см. рис. 1).

Поворотные оси B и C, необходимые для обеспечения пятикоординатной обработки методом объемного строгания, реализуют в шпиндельном узле Diplomatic. Эти оси оснащены гидравлическими фиксаторами, индексными зажимами и под-

жимом для работы в режиме интерполяции. Гидравлическими механизмами шпиндельного узла управляют с помощью гидростанции, золотников, клапанов и датчиков давления, в свою очередь управляемых контроллером электроавтоматики.

Функции управления электроавтоматикой станка выполняет программный контроллер системы ЧПУ «АксиОМА Контрол». В качестве модулей ввода (вывода) используют отечественную разработку РобоКон R1456. Взаимодействие с модулями производят по протоколу реального времени Modbus RTU на основе физического интерфейса последовательных портов RS-485.

Двухкомпьютерная архитектура специализированной системы ЧПУ (рис. 2) включает в себя ядро, работающее в операционной системе Linux RT, и терминал оператора с операционной системой Windows [5 и 6]. В состав терминальной части входит кнопочная панель функциональных F- и M-клавиш и станочная панель, взаимодействующая напрямую с ядром системы ЧПУ по внутреннему протоколу на основе интерфейса последовательного порта [7].

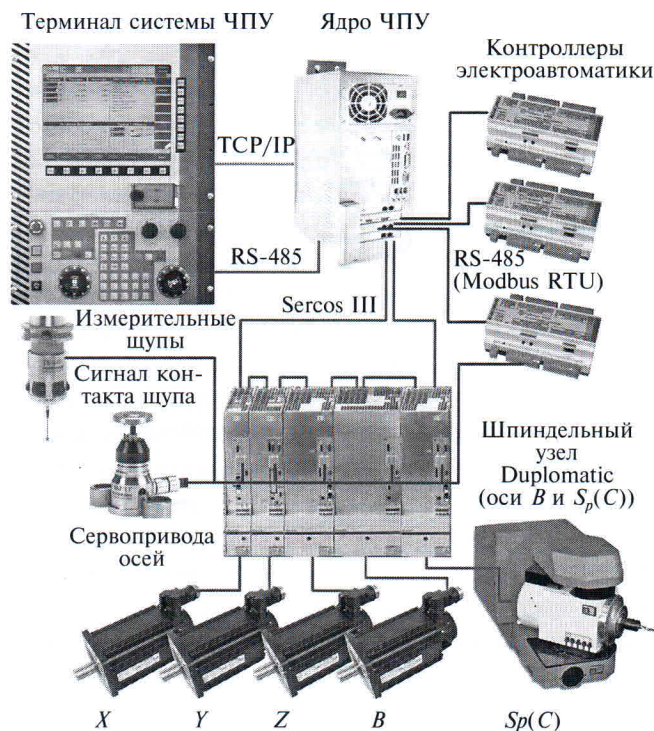


Рис. 2. Структурная схема специализированной системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» для обрабатывающего центра мод. Э7106МФ4

Интеллектуальными приводами движения управляют по стандартному высокоскоростному протоколу SERCOS III. Ядро системы ЧПУ оснащено платой управления SERCANS, которая является ведущей (мастером — master) для SERCOS кольца с приводами. Конфигурирование подсетей реального времени SERCOS и Modbus осуществляют набором машинных параметров в системе ЧПУ и конфигураторе модулей ввода (вывода) [8].

Обрабатывающий центр оснащен измерительными системами Hidenhiem для повышения точности обработки и контроля износа режущего инструмента, а также для специальных функций ориентирования инструмента перед началом процесса строгания. Сигнал о касании шупа поступает на быстрые входы контроллеров приводов и продублирован на входы контроллера электроавтоматики. Программе ПЛК необходимо обрабатывать сигнал от шупа, чтобы по необходимости заблокировать выполнение ряда действий оператора, например, ручную смену инструмента.

Предложенная схема подключения измерительного шупа обеспечивает своевременную реакцию на событие касания, сокращает вероятность поломки шупа и распараллеливает процесс обработки сигнала. При выполнении измерительного цикла G75 система получает от приводов уведомление о касании, координаты точки касания и текущие координаты остановки приводов. Далее, в зависимости от состояния сигнала на быстрых входах сервоприводов, системой ЧПУ принимается решение о дальнейших перемещениях.

Управление периферийными устройствами электроавтоматики (такими как гидравлические тормоза осей, индексные зажимы, импульсная смазка и др.) требует настройки системы ЧПУ под специфику конструкции станка и его набора вспомогательных M-функций, добавляемых станкостроителем. Система ЧПУ «АксиОМА Контрол» — это инструментарий для конфигурирования набора пользовательских M-функций в коммуникационном интерфейсе ЧПУ—ПЛК.

Взаимодействие между процессом Soft—ПЛК [9 и 10] и ядром системы ЧПУ происходит через область общих данных ЧПУ—ПЛК. Здесь размещаются таблицы сигналов, необходимых для взаимодействия ЧПУ и ПЛК. Абстракциями для формирования групп сигналов являются: каналы уп-

равления; оси; шпиндели станка; конфигурация M-команд и др. В обобщенной структуре управляющей программы ПЛК представлены функциональные блоки для работы с этими группами сигналов (рис. 3). Например, перед началом движения системе ЧПУ необходимо удостовериться, что ось B (см. рис. 1) станка не стоит на гидравлическом тормозе.

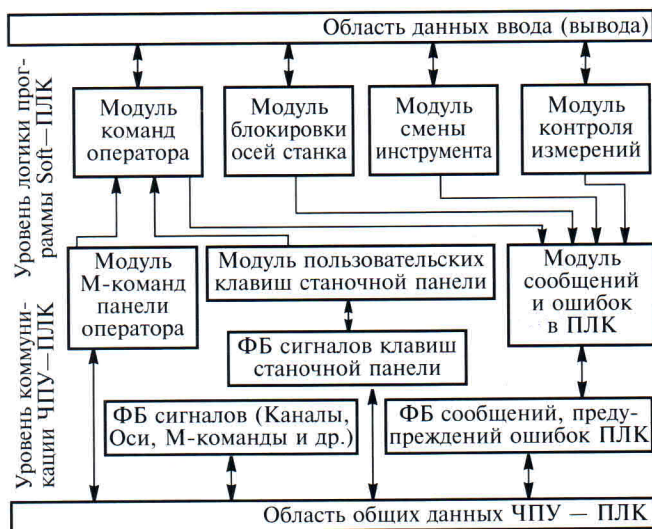


Рис. 3. Общая структура управляющей программы для Soft ПЛК электроавтоматики станка

Другие группы сигналов в области общих данных ЧПУ—ПЛК передают информацию о нажатиях оператором клавиш на панели оператора и станочной панели. Управляющая программа Soft—PLC напрямую обрабатывает сигналы ручного управления электроавтоматики и индикации их состояния через подсветку клавиш станочной панели [11 и 12].

В отдельную группу выделены функциональные блоки оповещения пользователя о текущем состоянии программы ПЛК. Три типа сообщений могут быть «установлены» из управляющей программы ПЛК и отображены в терминале оператора — ошибки, предупреждения и информационные сообщения. Термин «установлены» применяют поскольку программа ПЛК только устанавливает флаг активности нужного сообщения в сигналах интерфейса ЧПУ—ПЛК. Непосредственно текст сообщений задают на стороне терминала оператора в нужном формате и языке через XML-файл конфигурации сообщения по их номеру.

Управляющая программа электроавтоматики сформирована как набор обособленных функциональных модулей [13 и 14]. Каждый такой модуль обрабатывает определенные сигналы интерфейса ЧПУ—ПЛК и контролирует состояние аппаратных входов и выходов, связанных с контролируемой подсистемой станка.

Например, с помощью модуля для управления механизмом смены инструментов обрабатывают сигналы М-команды (M06), берут данные о номере инструмента от системы ЧПУ и выполняют алгоритм, активируя выходы и считывая состояния входов встроенного контроллера инструментального магазина. При реализации новых функций управления станком в набор добавляют новые модули: для контроля измерений; автоматической блокировки (разблокировки) осей гидравликой; управления и контроля заграждений рабочей зоны; автоматической уборки стружки и др.

На рис. 4 приведен пример обособленного функционального модуля для обработки М-команд системы ЧПУ. Здесь используют интерфейсные модули: входных сигналов М-команд от ЧПУ к ПЛК и выходных сигналов М-команд от ПЛК к ЧПУ. Выходные сигналы М-команд используют для подтверждения о выполнении. Группа элементов логики М-команды получает сигнал от блока входных сигналов и выполняет необходимый алгоритм. В случае успешного завершения операции выдается сигнал в блок выходных сигналов.

Для разблокировки и блокировки осей В и С (см. рис. 1) реализованы дополнительные модуль-

ные М-функции: M904 — префиксная команда для разблокировки оси; M905 — постфиксная команда для блокировки оси.

В качестве первого параметра М-функции принимают цифровой индекс оси в пределах от 1 до 255, логика обработки которого заложена в ПЛК, а ЧПУ просто передает этот параметр. Второй параметр используют для указания особых параметров блокировки одной и той же оси. Например, второй параметр может указывать, что ось устанавливают на индексный зажим, который обеспечивает точное позиционирование оси с заданным интервалом (для оси В станка возможно позиционирование по индексному зажиму с интервалом 5 градусов).

Практические аспекты реализации системы управления. Функции измерения режущего инструмента для процесса объемного силового строгания имеют два назначения: 1) измерение и ориентация строгального резца перед процессом обработки для установки его продольной оси под углом, близким или равным 90° к обрабатываемой поверхности, и установки передней поверхности инструмента под заданным исходным углом к поверхности резания; 2) измерение износа режущего инструмента [15–17].

Построение подсистемы специализированных измерительных циклов потребовало: а) добавления новых перманентных (постоянных в процессе работы) канальных переменных, где будут сохраняться результаты измерительных циклов; б) добавления структур данных, отвечающих за обмен в канале между ядром и терминальной частью системы; в) разработку экранов в терминале системы ЧПУ для запуска и отображения результатов измерений для ручного режима работы.

Реализация новых алгоритмов управления для технологии объемного силового строгания требует от системы ЧПУ гибкости и широкой функциональности механизмов программирования [18 и 19]. Исходя из практики создания типовых циклов обработки, осуществлена разработка набора специализированных G-функций базовых операций строгания и циклов для обработки типовых поверхностей методом объемного строгания. Добавление логики специализированных циклов строгания реализовано на основе подготовительных G-функций и языка высокого уровня [20].

В настоящее время опытный образец станка используют в МГТУ «СТАНКИН» для учебного про-

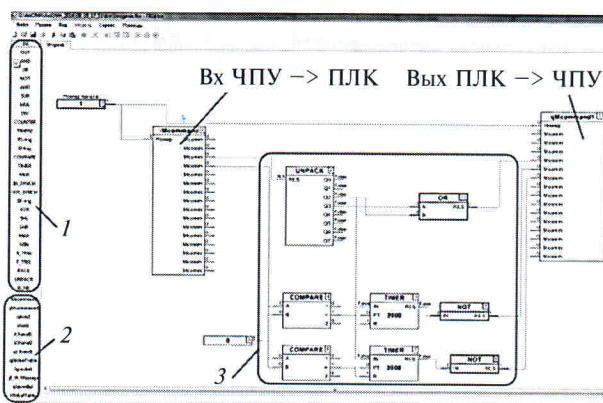


Рис. 4. Модуль для обработки М-команд системы ЧПУ (1 — стандартные логические инструменты, 2 — пользовательские библиотеки, 3 — логика программы электроавтоматики)

цесса и для проведения научных испытаний функций строгания, фрезерной обработки и измерительных циклов. Активную роль в этом процессе принимают молодые специалисты.

Выводы

1. Обработывающий центр мод. Э7106МФ4 с системой ЧПУ «АксиОМА Контрол» позволяет реализовать технологию объемного силового строгания.

2. Применение отечественной системы управления — гарантия сохранения своего know-how и особенно актуально с точки зрения импортозамещения.

3. Особенности конструкции обрабатывающего центра позволяют использовать систему ЧПУ функций периферийных устройств гидравлики для блокирования и торможения поворотных осей станка, для повышения жесткости станка в процессе обработки.

4. Взаимодействие логической задачи управления устройствами электроавтоматики и функций ядра системы ЧПУ реализуют на основе интерфейса сигналов между ЧПУ и ПЛК. Для представления сигналов в управляющей программе выделяют функциональные блоки уровня коммуникации ЧПУ—ПЛК. На основе этих блоков формируют обособленные модули управления, отвечающие за отдельные функции электроавтоматики (смена инструмента, обработка команд станочной панели, уборка стружки и др.).

Список литературы

1. Григорьев С. Н. Тенденции и проблемы модернизации машиностроительного производства на базе отечественного станкостроения // Вестник МГТУ «СТАНКИН». — 2010. — № 3. — С. 7—13.
2. Пат. РФ № 2282524. Способ обработки изделий строганием.
3. Мартинов Г. М., Мартинова Л. И. Формирование базовой вычислительной платформы ЧПУ для построения специализированных систем управления // Вестник МГТУ «СТАНКИН». — 2014. — № 1 (24). — С. 92—97.
4. Метод декомпозиции и синтеза современных систем с ЧПУ / Г. М. Мартинов, Н. В. Козак, Р. А. Нежметдинов и др. // Автоматизация в промышленности. — 2013. — № 5. — С. 8—14.
5. Sergej N. Grigoriev, Georgi M. Martinov. Scalable open cross-platform kernel of PCNC system for multi-axis machine tool // Procedia CIRP. — 2012. — № 1. — P. 238—243.
6. Sergej N. Grigoriev, Georgi M. Martinov. Research and Development of a Cross-platform CNC Kernel for Multi-axis Machine Tool // Procedia CIRP. — 2014. — Vol. 14. — P. 517—522.

7. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Емельянов А. С. Принципы построения кроссплатформенного программно-реализованного контроллера электроавтоматики систем ЧПУ высокотехнологичными производственными комплексами // Вестник МГТУ «СТАНКИН». — 2013. — № 1 (24). — С. 42—51.

8. Georgi M. Martinov, Aleksandr B. Ljubimov, Anton S. Grigoriev, Lilija I. Martinova. Multifunction numerical control solution for hybrid mechanic and laser machine tool // Procedia CIRP. — 2012. — № 1. — P. 277—281.

9. Georgi M. Martinov, Aleksandr I. Obuhov, Lilija I. Martinova, Anton S. Grigoriev. An Approach to Building Specialized CNC Systems for Non-traditional Processes // Procedia CIRP. — 2014. — Vol. 14. — P. 511—516.

10. L. I. Martinova, R. L. Pushkov, N. V. Kozak, E. S. Trofimov. Solution to the problems of axle synchronization and exact positioning in a numerical control system // Automation and Remote Control. — 2014. — № 1 (75). — P. 129—138.

11. An Approach to Building a Multiprotocol CNC System / G. M. Martinov, A. B. Lyubimov, A. I. Bondarenko and oth. // Automation and Remote Control. — 2015. — Vol. 76. — No. 1. — P. 172—178.

12. Мартинов Г. М., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Любимов А. Б. Специфика построения панелей управления систем ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов // Автоматизация и современные технологии. — 2010. — № 7. — С. 34—40.

13. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Никищечкин П. А. Специфика построения редактора управляющих программ электроавтоматики стандарта МЭК 61131 // Вестник МГТУ «СТАНКИН». — 2014. — № 4 (31). — С. 127—132.

14. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Никищечкин П. А. Разработка средств визуализации и отладки управляющих программ для электроавтоматики, интегрированных в систему ЧПУ // Вестник МГТУ «СТАНКИН». — 2012. — № 4 (23). — С. 134—138.

15. Martinova L. I., Grigoryev A. S., Sokolov S. V. Diagnostics and forecasting of cutting tool wear at CNC machines // Automation and Remote Control. — 2012. — № 4 (73) — P. 742—749.

16. Lilija I. Martinova, Sergey S. Sokolov and Petr A. Niki-shechkin. Tools for Monitoring and Parameter Visualization in Computer Control Systems of Industrial Robots // Y. Tan et al. (Eds.): ICSI-CCI. Part II, LNCS 9141. — 2015. — P. 200—207.

17. Georgi M. Martinov, Anton S. Grigoryev, and Petr A. Niki-shechkin. Real-Time Diagnosis and Forecasting Algorithms of the Tool Wear in the CNC Systems // Y. Tan et al. (Eds.): ICSI-CCI. Part III. LNCS 9142. — 2015. — P. 115—126.

18. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А. Модульный подход к построению специализированной системы ЧПУ для обрабатывающих центров наклонной компоновки // СТИН. — 2014. — № 11. — С. 28—32.

19. G. M. Martinov, R. A. Nezhmetdinov. Modular Design of Specialized Numerical Control Systems for Inclined Machining Centers // Russian Engineering Research. — 2015. — Vol. 35. — No. 5. — P. 389—393.

20. Мартинов Г. М., Козак Н. В. Реализация управления крупногабаритными прецизионными обрабатывающими центрами системой ЧПУ «АксиОМА Контрол» // СТИН. — 2015. — № 1. — С. 6—11.