

Исследованы проблемы и тенденции развития систем ЧПУ для высокотехнологичных производств. Рассмотрены функции систем ЧПУ в рамках реализуемых технологий. Описаны стратегические направления дальнейшего развития систем ЧПУ.

Ключевые слова: система ЧПУ, многоканальная обработка, многозадачная обработка, высокоскоростная обработка, 5-осевая обработка, гибридная обработка.

В области числового программного управления уже 10...15 лет как, казалось бы, решены все насущные задачи. Фирмы, которые удержались в этот период на рынке, извлекают прибыль, продавая имеющиеся решения и осуществляя их техническую поддержку. Тем не менее, ведущие компании продолжают инвестировать сотни человеко-лет в год в разработку и развитие систем ЧПУ. Мировой кризис 2008 г., сокративший выпуск продукции промышленной автоматизации на 40%, меньше всего затронул их R&D отделы. Конкурентная борьба обострилась в погонях за новыми решениями. Современные технологии изготовления изделий требуют новых алгоритмов управления и предоставления специального инструментария со стороны системы управления [1].

Сегодня при покупке технологического оборудования потребители изначально исходят не из факта наличия системы управления как таковой, а из того, насколько она отвечает современным представлениям об интерфейсе пользователя, в частности, диагонали и угла обзора экрана, оснащенности средствами интуитивно понятной пользователю визуализации и диагностики ТП, эргономичности органов управления [2].

Системы ЧПУ постоянно совершенствуются, обеспечивая повышающиеся требования по скорости и точности рабочих движений и предоставляя специалистам принципиально новые возможности по автоматизации производства. Основными направлениями развития систем управления в настоящее время являются:

- увеличение производительности вычислений, которая отражается на качестве управления и напрямую влияет на производительность и качество обработки за счет применения все более производительной вычислительной техники и совершенствования алгоритмов управления;
- совершенствование интерфейса пользователя: предоставление более развитых средств моделирования и визуализации ТП изготовления деталей, контроля над ними;
- совершенствование средств формального описания ТП (составления управляющих программ), в том числе и для переналадки оборудования, максимальное освобождение человека-оператора от рутинных управляющих действий, обеспечение интеллектуального автоматического контроля за ТП и состоянием оборудования;

- обеспечение возможностей интеграции систем управления в иерархические сети, совершенствование средств и способов подготовки, сортировки и обработки информации, передаваемой по таким сетям для предоставления управляющему персоналу максимально оперативной и объективной информации о состоянии производства [3].

Новейшие тенденции

Переход на единую платформу предполагает применение единой платформы для ряда систем ЧПУ, находящихся в разных ценовых категориях и оснащенных разными функциональными возможностями. Так, системы ЧПУ Sinumerik (Siemens) переводятся на единую платформу Sinumerik Operate [4]. Компания Bosch Rexroth взял на вооружение названный подход около 10 лет назад и сегодня предлагает на рынке единую аппаратную платформу для систем ЧПУ, ПЛК и контроллеров движения, меняя только ПО на флэш-памяти [5].

Переход на общую промышленную сеть, управляемую от системы ЧПУ, для приводов и входов/выходов электроавтоматики на базе 100 Мб Ethernet. В эту же сеть подключаются датчики для контролирования объекта управления [6]. Для этого, например, Siemens и Heidenhain используют закрытые протоколы, Bosch Rexroth – протокол SERCOS III, Beckhoff – протокол EtherCAT.

Объединение в единый проект автоматизации элементов системы управления станка. Панели управления, контроллер ЧПУ, привода, промышленные шины, входы/выходы электроавтоматики и прочие элементы объединяются в общий проект для настройки, конфигурирования, диагностики системы управления в целом.

Ключевые функции современных систем ЧПУ

Флагманские системы ЧПУ мировых лидеров обеспечивают:

- открытость для реализации know-how станкостроителей и конечных пользователей;
- многокоординатную обработку и многоканальное управление (до 64 осей на 10...12 каналов);
- функции искусственного интеллекта для компенсации температурных деформаций и автоматического контроля износа инструментов;
- сверхбыструю и прецизионную обработку с применением алгоритмов наноинтерполяции и предсмотра кадров (look-ahead);



Рис. 1. Экран оператора для управления двух каналов системы ЧПУ MTX (Bosch Rexroth)

- функции сплайн-интерполяции и компрессии кадров, адаптивного управления подачей, трехмерной визуализации процесса обработки и автоматического предотвращения столкновений механических модулей станка, приспособлений, деталей и инструментов;
- поддержку цехового программирования и программирования на языке высокого уровня;
- удаленную диагностику, контроль и управление системой ЧПУ, сетевые возможности для объединения нескольких систем ЧПУ в сложные комплексы на базе Ethernet [7];
- функции калибровки станков с объемной компенсацией и контролем уровня вибрации;
- управление производственным процессом, перенос технологических программ, управление заказами, профилактическое обслуживание;
- энергоэкономичность.

Многие функции систем управления понятны только узким специалистам, но не всегда тем, кто занимается подбором оборудования для предприятия. Кроме того, большинство из ключевых функций выходят за рамки базовой поставки и приобретаются отдельно. В такой ситуации сделать правильный выбор непросто. Рассматривать возможности системы ЧПУ следует в рамках реализуемых технологий, где уже задействован некоторый набор функций. Большая часть рассмотренной функциональности реализована только в системах ЧПУ класса Hi-End.

Перспективные технологии обработки

Многоканальная обработка. Современные системы ЧПУ поддерживают до 10...12 независимых каналов управления. Многоканальное управление предполагает параллельное выполнение управляющих программ на отдельных каналах с возможностью их син-

хронизации между собой [8]. Так, при многошпиндельной обработке от одной системы ЧПУ может, например, одновременно выполняться черновая и чистовая обработка (при наличии нескольких суппортов), управление станком и управление манипулятором погрузчика и т.д. Производители систем ЧПУ реализуют в интерфейсе оператора специальные экраны выбора активного канала с возможностью одновременно просматривать два канала (рис. 1), редактировать и отлаживать синхронизацию между управляющими программами.

Компания Siemens предлагает дополнительный пакет ProgramSYNC, позволяющий непосредственно на стойке системы управления с помощью двойного редактора создавать и отлаживать синхронизацию управляющих программ для двух каналов. Кадры управляющей программы логически объединены в секции, которые можно свернуть или раскрыть для облегчения понятийного восприятия структуры программы (кода).

ПО ProgramSYNC обеспечивает функции ожидания метки времени для синхронизации отдельных кадров каналов. При автоматической оценке времени согласуются шаги обработки на разных каналах, а оператору предоставляется возможность оптимизировать многоканальную программу в двойном редакторе. При необходимости отдельные задачи обработки можно передать на другие каналы для сокращения времени выполнения программы.

С помощью анимированных элементов отображается общая картина последовательности выполнения управляющих программ на разных каналах.

Многозадачная обработка. Многозадачные станки, на которых совмещены токарная, фрезерная, сверлильно-расточная, а в ближайшем будущем — шлифовальная обработка и обработка поверхностью лазером активно набирают популярность [9]. Причины этого в заметном повышении производительности и точности обработки, в частности, за счет того, что деталь не надо переустанавливать на другой станок, технологические операции совмещены на одном станке, требуются меньшие производственные площади, снижаются эксплуатационные расходы.

Для эффективного использования многозадачного оборудования требуется более высокий уровень информационного обеспечения в цехе и специальное ПО. В частности, нужна соответствующая CAD-CAM система и инструментарий для виртуальной симуляции процесса обработки на станке и выявление коллизий. Некоторые станкостроители, такие как Mazak, Nakamura-Tome и Okuma для этого выпустили собственное ПО.

Система ЧПУ должна реализовывать смешанные технологии обработки, обладать специальным набором станочных и измерительных циклов и работать с новыми видами комбинированного инструмента, например, применяемого как для токарной, так и для фрезерной обработки (рис. 2).

Высокоскоростная обработка.

Высокоскоростная механическая обработка позволяет увеличить эффективность, точность и качество механообработки по сравнению с обычным резанием. Малое сечение среза при высокой подаче и высокой скорости резания в диапазоне высокоскоростной обработки в 5...10 раз превышающей скорости, используемые при обычной обработке, обеспечивают перераспределение тепла и концентрации его в стружке, а не в детали и не в режущем инструменте. Таким образом, при высокоскоростной обработке повышается износостойкость инструмента и качественные показатели обрабатываемой детали.

Высокоскоростная обработка потребовала изменений в конструкции металлорежущих станков, их направляющих, узлов приводов, в шпиндельных подшипниках. Появились новые типы приводов главного движения и линейные приводы подачи, системы ЧПУ с более коротким циклом расчета траектории, новые конструкции режущего и вспомогательного инструмента. Современная система ЧПУ управляет шпинделем, вращающимся со скоростью ≥ 40 тыс. об/мин, обеспечивает рабочую подачу порядка 60 м/мин и холостой ход 90 м/мин, отрабатывает малые перемещения от 5 мкм. Кроме того, она реализует температурную компенсацию, имеет возможность балансировки инструмента и реализует алгоритм предпросмотра кадров look-ahead со скоростью 100...200 кадров в секунду. САМ-система при генерации управляющей программы обеспечивает малые сечения среза, гладкую траекторию движения инструмента и равномерную нагрузку на инструмент.

Функции 5-осевой обработки. Обработка деталей сложной формы требует специальных алгоритмов в системе ЧПУ. Управляющая программа, сгенерированная CAD/CAM системой, использует систему координат станка, поэтому предъявляет жесткие требования относительно точности установки детали и инструмента. Любые изменения, связанные с коррекцией инструмента, требуют пересчета и повторной генерации управляющей программы.

Функции 5-осевой обработки предназначены для упрощения программирования сложной обработки и позволяют использовать управляющую программу, напи-

*Довольствуйся настоящим, но
стремишься к лучшему.*
Сократ



Рис. 2. Пример комбинированного инструмента, используемого как резец и как торцевая фреза

санную в системе координат детали. Абстрагирование от кинематики станка при программировании, возможность компенсации погрешностей установки заготовки и учет размеров инструмента позволяют упростить управляющую программу и снизить требования к САМ-системе и постпроцессору. Погрешность установки детали и коррекция на длину инструмента

учитывается с использованием функции компенсации.

Компенсация погрешности установки заготовки (WSEC – Workpiece Setting Error Compensation), определяемой как несовпадение системы координат конкретной заготовки и системы координат управляющей программы, осуществляется в 3D-формате.

Коррекция на длину инструмента осуществляется с учетом вращения инструмента вокруг поворотной оси, что поясним на рис. 3. При программировании с вращением центральной точки инструмента (RTCP – Rotating Tool Center Point) последний всегда ориентирован по нормали к обрабатываемой поверхности.

RTCP смещает центр вращения поворотной оси в конечную точку инструмента. В результате компенсируются смещения по осям X, Y, Z соответственно движениям инструмента.

Обработка в наклонной плоскости (TWP – Tilted Working Plane) устанавливает временную систему координат на локальную рабочую плоскость для упрощения программирования детали для 5-осевой и "3+2"-осевой обработки.

Функция 3D-коррекции радиуса инструмента (3D Tool Radius Correction) осуществляется в процессе обработки и учитывает радиус инструмента, глубину резания, ориентацию нормали инструмента, запрограммированную траекторию контура и запрограммированные изменения контурной скорости (рис. 4).

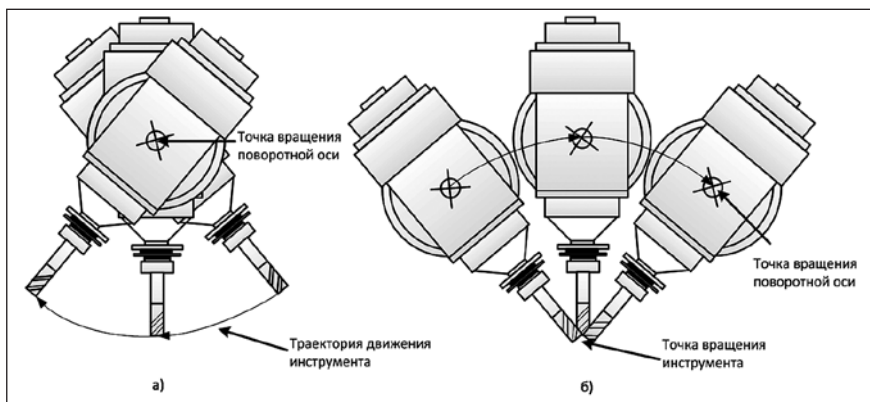


Рис. 3. Программирование: а) без вращения центральной точки инструмента; б) с вращением центральной точки инструмента

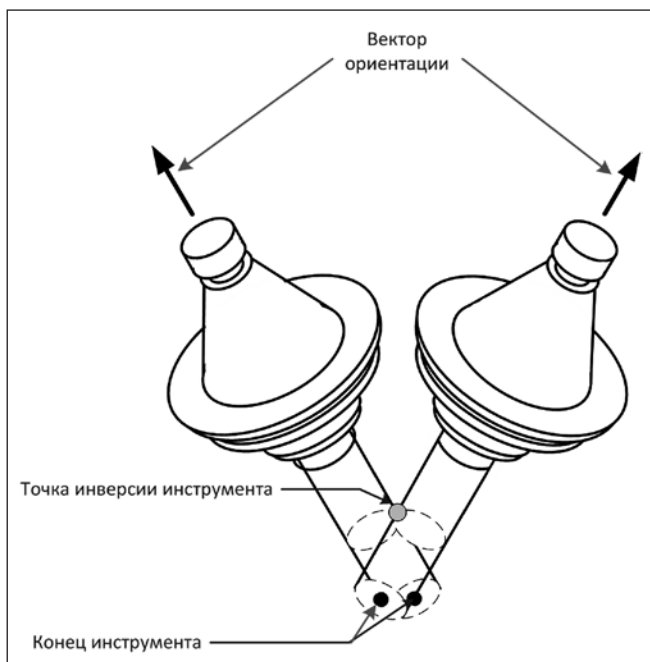


Рис. 4. Схема 3D-коррекции радиуса инструмента

Гибридная обработка. Гибридная обработка предполагает одновременное воздействие двух и более энергий в одной и той же точке. Гибридные станки обеспечивают более эффективную и продуктивную обработку посредством одновременного и контролируемого взаимодействия разных механизмов и (или) источников энергии. Реализация многозадачных и гибридных решений накладывает ограничения не только на интерфейс оператора, но и на архитектуру системы ЧПУ [10].

Пример гибридной обработки — обработка с помощью лазерного нагрева. Процесс был разработан в целях упрощения и удешевления обработки керамических изделий. Лазер используется для изменения структуры материала в зоне резания.

Закключение или что ожидать в ближайшем будущем

Системы ЧПУ продолжают эволюционировать, поэтому и рассмотренные функциональности будут развиваться. Все больше будет размываться грань между разными типами систем управления: ЧПУ (CNC), ПЛК (PLC), системы управления роботами (robot control), контроллеры движения (motion control) и контроллеры автоматизации (PAC) [11].

В производстве активно внедряются новые технологии: аддитивные; гибридные технологии обработки; технологии обработки, базирующиеся на новых физических принципах; технологии обработки на станках новых (нетрадиционных) конструкций и др., но пока не сформировался системный подход к построению предназначенных для них систем ЧПУ. Следует ожи-

дать новых решений от производителей систем ЧПУ, поскольку речь идет о стратегических отраслях, где формируются основы для технологического прорыва в сфере создания новых образцов промышленного оборудования. Кроме того, появляются новые промышленные концепции, например, бережливое производство (lean manufacturing), экологически чистое производство (green manufacturing), быстро изменяющееся производство (agile manufacturing) и т. д., которые тоже наложат отпечаток на развитие систем ЧПУ [12].

Список литературы

1. Григорьев С.Н. Научно-технические проблемы построения современных технологических систем с числовым программным управлением // Мехатроника, автоматизация, управление. 2011. № 4. С. 19-26.
2. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И. Анализ систем ЧПУ, представленных на Международной выставке «Металлообработка-Технофорум-2009», их новизна и особенности // Автоматизация в промышленности. 2009. №12. С. 59-65.
3. Григорьев С.Н., Мартинова Л.И. Подход к построению информационно-вычислительных сред виртуальных производственных корпораций // Межотраслевая информационная служба. 2012. № 4. С.31-37.
4. Бретинайдер Д. Решения для автоматизации металлообрабатывающих станков на основе инновационной системы ЧПУ // Автоматизация в промышленности. 2012. № 5. С. 12 -15.
5. Брюль Й., Нотнагель Й. Система ЧПУ IndraMotion MTX // Автоматизация в промышленности. 2012. № 5. С. 16 -18.
6. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Управление и диагностика цифровых приводов станков с ЧПУ // Контроль. Диагностика. 2012. №12. С. 54-60.
7. Martinov G.M., Ljubicov A.B., Martinova L.I., Grigoriev A.S. Remote machine tool control and diagnostic based on web technologies. Proc. of COMA 13, International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch (South Africa), 2013: ISBN: 978-0-7972-1405-7, pp. 351-356.
8. Sergej N. Grigoriev, Georgi M. Martinov. Scalable open cross-platform kernel of PCNC system for multi-axis machine tool // Procedia CIRP 1 (2012) p.p. 255 - 260.
9. Grigoriev S.N., Martinov G.M. Decentralized CNC automation system for large machine tools. Proc. of COMA 13, International Conference on Competitive Manufacturing, Stellenbosch (South Africa), 2013: ISBN: 978-0-7972-1405-7, pp. 295-300.
10. 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 1 (2012) p.p. 277 – 281.
11. Martinov G.M., Martinova L.I. Trends in the numerical control of machine-tool systems // Russian Engineering Research. 2010. Т. 30. № 10. p.p. 1041-1045.
12. Григорьев С.Н., Мартинов Г.М. Перспективы развития распределенных гетерогенных систем ЧПУ децентрализованными производствами // Автоматизация в промышленности. 2010. №5. С. 4-8.

Григорьев Сергей Николаевич — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Высокоэффективные технологии обработки», ректор МГТУ «СТАНКИН»,

Мартинов Георгий Мартинович — д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Компьютерные системы управления» МГТУ «СТАНКИН».

Контактный телефон (499) 972-94-40.

E-mail: e-mail@ncsystems.ru