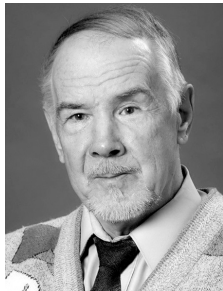


Инновационная система мониторинга многоцелевых станков



М. П. Козочкин,
д. т. н., профессор
кафедры
высокоэффективных
технологий обработки
astra-mp@yandex.ru



А. Р. Маслов,
д. т. н., профессор
кафедры
высокоэффективных
технологий обработки
vestnik@stankin.ru



А. Н. Порватов,
к. т. н., доцент кафедры
электротехники,
электроники
и автоматики
porvatov_artur@mail.ru



А. Н. Порватова,
аспирант кафедры
электротехники,
электроники
и автоматики
arina.porvatova@mail.ru

ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

В статье описывается инновационная система непрерывного диагностирования текущего состояния многоцелевого станка, основанная на сборе, обработке и анализе информации от внешних датчиков силы, мощности, вибраций, акустической эмиссии и температуры.

Ключевые слова: диагностика, мониторинг, система сбора данных, информация, управление.

Многоцелевые станки все шире применяются в промышленности, порой заменяя целые цеха механической обработки, состоящие из обычных универсальных станков различных групп и даже из станков с ЧПУ. Обработка сложной детали за одну операцию позволяет повысить точность и, одновременно, производительность обработки, дает значительный экономический эффект [1,2]. В то же время высокая концентрация средств автоматизации неминуемо ведет к росту вероятности отказов.

Особенностью обработки на многоцелевых станках является широкий диапазон обрабатываемых заготовок, которые подвергаются и черновой и финишной обработке при участии одних и тех же электромеханических систем.

В связи с этим они работают в условиях многообразных возмущающих воздействий.

Важной особенностью многоцелевых станков является необходимость прогнозирования качества получаемых изделий с точки зрения способности всех его устройств выполнять возлагаемые на них задачи. Только при наличии аналитического прогноза, можно обеспечить оптимальное сочетание этих устройств, которые необходимо дополнять информационными и диагностическими системами для обеспечения функциональной надежности всего станка [3].

Основой конструкции многоцелевых станков служат мехатронные устройства, которые представляют собой совокупность трех систем: силовой (энергетической), информационной и управления. Силовая система осуществляет механические перемещения, информационная система позволяет получать информацию о состоянии всех элементов и связывает их с системой управления, а электронная система управления обеспечивает требуемый режим работы приводов и электроавтоматики, корректируемый по сигналам обратной связи с датчиков, установленных на электродвигателях или на исполнительных механизмах.

Инновационным является объединение этих систем в систему мониторинга состояния (СМС) многоцелевого станка. В состав разработанной СМС входят следующие подсистемы (рис. 1):

- исполнительная подсистема предназначена для обработки материала резанием на заданных режимах;



Рис. 1. Состав СМС

- чувствительные элементы предназначены для регистрации параметров металлорежущих станков (виброскорость, виброускорение, составляющие силы резания);
- подсистема согласования сигналов работает совместно с чувствительными элементами и предназначена для согласования сигналов с входом АЦП, а также выделения полосы частот полезного сигнала;
- подсистема связи и передачи данных предназначена для обеспечения связи между подсистемами;
- подсистема сбора измерительной информации предназначена для преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой код;
- подсистема передачи измерительной информации служит для компоновки пакетов с цифровым кодом и передачи его непосредственно в ПЭВМ;
- подсистема хранения и отображения измерительной информации предназначена для получения и отображения результата измерения, а также сохранения в виде файла на ПЭВМ;
- подсистема обработки измерительной информации служит для обработки измерительного сигнала в цифровом виде при помощи различных математических алгоритмов;
- подсистема адаптивного управления по силе резания и уровню вибрации [4] предназначена для регистрации составляющих силы резания, виброускорения и виброускорение и формирования управляющего сигнала (скорость подачи, скорость вращения шпинделя) для станка, также накопления статистики по работе шпиндельного узла.

Например, для многоцелевого 3-координатного станка DMC 635V Ecoline в состав СМС входят следующие технические средства: а) три однокомпонентных пьезоэлектрических датчика вибрации; б) датчик мощности; в) трехкомпонентный пьезоэлектрический динамометр Kistler 9253B23; г) усилитель заряда; д) модули сбора данных; е) ПЭВМ со специальным программным обеспечением (СПО).

Динамометр Kistler 9253B23 имеет значительные преимущества перед тензометрическими динамометрами: а) большая жесткость и высокая собственная частота; б) большой диапазон измерения; в) линейность и отсутствие гистерезиса; г) малые перекрестные наводки (менее 1%); д) простота эксплуатации; е) компактность; ж) герметичность, позволяющая применять жидкие СОТС (рис. 2).

Неотъемлемой частью подсистемы адаптивного управления по силе резания и уровню вибрации, которая обеспечивает сбор данных от динамометра, датчика мощности [5] и датчиков вибрации являются модули сбора данных.

В качестве этих модулей применены микропроцессорные устройства, работающие в режиме «реального» времени и способные производить анализ параметров сигналов от датчиков с целью предупреждения либо предотвращения функциональных отказов узлов станков.

В подсистеме адаптивного управления по силе, мощности и уровню вибрации реализованы следующие четыре основные функции.

1. Мониторинг сигналов от датчиков в режиме «реального» времени, то есть непрерывное отслеживание силы, мощности и вибрации станка во время обработки и анализ данных с целью выдачи команд на остановку станка при возникновении неприемлемых условий работы.
2. Диагностирование состояния отдельных узлов станка и режущего инструмента, т. е. анализ текущих значений сигналов, поступающих от датчиков, и формирование диагноза путем сравнения с установленными критериями состояния.
3. Адаптивное управление параметрами обработки в режиме «реального» времени, то есть формирование регулировочного сигнала на основе внутренней модели процесса резания и в соответствии с установленными критическими значениями управляемых параметров. Таким образом стабилизируется температура в зоне резания [6] и снижается вероятность появления автоколебаний [7] путем перехода на адекватные режимы обработки [8].
4. Непрерывная запись параметров сигналов в модули сбора данных с целью послеаварийного анализа повреждений.

Система контроля мощности шпинделя осуществляет контроль условий резания в режиме «реального» времени и автоматически изменяет подачу до ее оптимального уровня для каждой отдельной операции, что позволяет: а) снизить время обработки; б) проводить контроль износа инструмента с целью его своевременной замены; в) увеличить ресурс инструмента; г) снизить время простоев станка.

Все модули сбора данных и системы контроля работают под управлением программного обеспечения, которое делится на три уровня: а) аппаратный (объектный); б) уровень драйвера; в) специальное программное обеспечение (СПО).

Аппаратный уровень представляет программное обеспечение (ПО), которое выполняет часть вычислений, например, цифровую фильтрацию. Такая возможность позволяет в значительной степени сократить время вычислений в ПК и избежать ненужных задержек при приеме сигнала, что особенно актуально

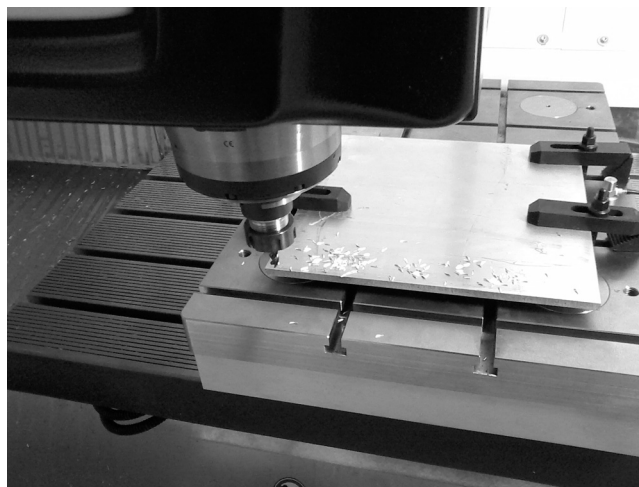


Рис. 2. Рабочая зона многоцелевого 3-координатного станка DMC 635V Ecoline с установленным на его столе трехкомпонентным пьезоэлектрическим динамометром

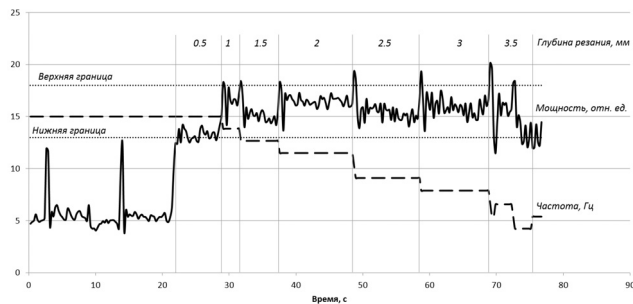


Рис. 3. Регулирование частоты вращения электродвигателя главного движения (прерывистая линия) по сигналу активной мощности (сплошная линия)

для систем «реального» времени. На уровне обращения к драйверу устройства и вызову его функций происходит управление сбором данных. Каждый из этих двух уровней имеет свою структуру, как правило, скрытую от разработчика СПО.

СПО представляет собой комплекс программ, предназначенных для сбора, обработки, отображения и сохранения результатов измерения, и удовлетворяет следующим требованиям: а) гарантированное сохранение результатов измерения; б) математическая обработка параметров измеряемых сигналов; в) возможность интеграции с программами Mathcad, MATLAB, Excel и др.; г) модульность структуры СПО с предоставлением пользователю возможности написания собственного программного обеспечения.

Для обеспечения безотказности работы СПО имеет несколько модулей, отличающихся друг от друга функционалом и, соответственно, аппаратными ресурсами, которые им необходимы.

Основным модулем является СПО «on-line» автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, используемое для сбора, начальной обработки, сохранения и отображения результатов измерения. Его дополняет модуль СПО «off-line», необходимый для расширенной обработки сохраненной информации. Оба модуля входят в состав общего СПО.

СПО верхнего уровня является основным рабочим местом оператора по on-line и off-line мониторингу и диагностированию. АРМ оператора позволяет настраивать модули сбора данных, получать измерительные сигналы с датчиков, отображать их на экране, производить анализ и обработку сигналов, сохранять информацию в файл.

На созданном ядре программной платформы могут быть созданы специализированные рабочие места для новых объектов. При этом специализированные АРМ могут создаваться на базе универсального АРМ оператора путем конструирования функционала (добавление, исключение и комбинирование приложений (функций)).

Для более глубокого анализа (интерполяции, экстраполяции, построения прогнозов, диагностики и др.) присутствует возможность экспорта сохраняемых данных в популярные файловые форматы, в том

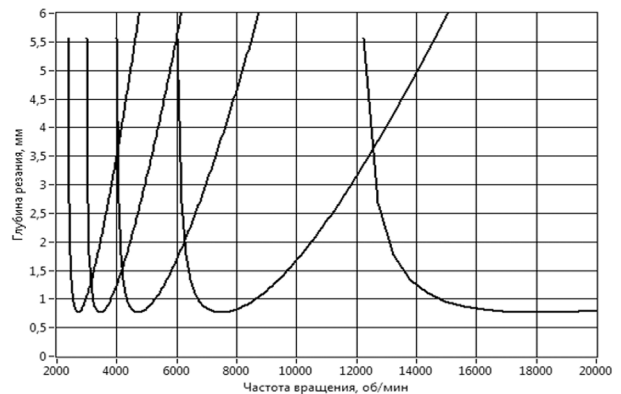


Рис. 4. Диаграмма стабильного резания многоцелевого 3-координатного станка DMC 635V Ecoline

числе для отображения – в формате .jpg и .png, а также в режиме «реального времени» передавать данные по сетям Интернет по протоколу TCP/IP в обработанном или в виде «как есть».

На рис. 3 представлен пример регулирования скорости резания (через задание частоты вращения электродвигателя главного движения) по сигналу активной мощности. При ступенчатом увеличении глубины резания от 0,5 до 3,5 мм разработанная СМС многоцелевого станка осуществляла изменение частоты вращения электродвигателя главного движения в пределах заданных оператором верхней и нижней границ.

Кроме того, разработанная СМС многоцелевого станка позволяет рассчитывать жесткость механической системы станка [9, 10], ее модальные параметры и строить полиномиальные зависимости областей регулирования, так называемые диаграммы стабильного резания [11] (рис. 4).

В областях диаграммы, ограниченных линиями снизу, СПО производит поиск значения скорости вращения шпинделя, обеспечивающее заданное значение мощности на валу двигателя без возникновения автоколебаний [12].

Разработанная специалистами ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН» инновационная система мониторинга многоцелевых станков обеспечивает прогнозирование качества получаемых изделий с точки зрения способности мехатронных устройств станка выполнять возлагаемые на них задачи [13-15]. Аналитический прогноз позволяет оптимально сочетать эти устройства и при необходимости дополнять их диагностическими системами [16, 17] для обеспечения функциональной надежности всего станка.

Разработанная СМС многоцелевого станка позволяет рассчитывать жесткость механической системы станка, ее модальные параметры и строить полиномиальные зависимости областей регулирования (диаграммы стабильного резания).

* * *

Разработка системы мониторинга многоцелевых станков выполнена в рамках выполнения государственного задания в сфере научной деятельности № 9.1557.2014/К от «11» июля 2014 г.

Список использованных источников

1. Григорьев С. Н., Козочкин М. П., Сабиров Ф. С., Синопальников В. А. Техническая диагностика станочного оборудования автоматизированного производства//Контроль. Диагностика. 2011. № 8. С. 48-54.
2. Боровский Г. В., Маслов А. Р. Отделочное точение изделий оптики из хрупких материалов//Вестник МГТУ «Станкин», №2/2015, с. 8-11.
3. Козочкин М. П. Многопараметрическая диагностика технологических систем для обработки материалов резанием//Вестник МГТУ «Станкин» - 2014. № 1 (28). С. 13-19.
4. M. P. Kozochkin, A. R. Maslov, and A. N. Porvatov, Information-measurement and control systems for force and vibroacoustic parameters//Measurement Techniques, Vol. 58, No. 8, November, 2015. pp. 839-844.
5. Kuzovkin V. A., Filatov V. V., Porvatov A. N., Porvatova A. N. A System for Measuring the Active Power of the Asynchronous Motor of a Lathe Electric Drive // Measurement Techniques. – 2014. Volume 57, Issue 2, pp. 197-199.
6. Козочкин М. П., Солис-Пинарте Н. В. Исследование эффектов вибрационного точения с применением СОТС//Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 4 (31). С. 67-73.
7. Kozochkin M. P., Porvatov A. N. Effect of Adhesion Bonds in Friction Contact on Vibroacoustic Signal and Autooscillations// Journal of Friction and Wear. – 2014, Volume 35, No. 5, pp. 389-395.
8. Козочкин М. П., Алленов Д. Г. Исследование влияния износа режущей кромки инструмента на деформации поверхностного слоя детали//Вестник МГТУ «Станкин». 2015. № 4. С. 22-29.
9. Козочкин М. П., Маслов А. Р., Порватов А. Н. Оценка динамической жесткости станка для микрофрезерования//Вестник МГТУ Станкин. 2013. № 2 (25). С. 12-16.
10. Kozochkin M. P. Nonlinear cutting dynamics//Russian Engineering Research. – 2012. Volume 32, Issue 4, pp. 387-391.
11. Маслов А. Р., Молодцов В. В. Моделирование колебаний инструментальной системы для растачивания отверстий//Вестник МГТУ «Станкин» - 2014. № 4 (31). С. 196-199.
12. Козочкин М. П. Влияние динамических характеристик станочных узлов на вибрации при резании//СТИН – 2014. № 2. С. 4-8.
13. S. N. Grigor'ev, M. P. Kozochkin, A. A. Okun'kova, Investigation of monitoring perspectives for electroerosion processes by vibration parameter variation//Russian Aeronautics (Iz VUZ). October 2015, Volume 58, Issue 4, pp 488-494.
14. M. P. Kozochkin, S. N. Grigor'ev, A. A. Okun'kova, and A. N. Porvatov, Monitoring of Electric Discharge Machining by Means of Acoustic Emission//Russian Engineering Research, 2016, Vol. 36, No. 3, pp. 244-248.
15. S. N. Grigor'ev and M. P. Kozochkin, Improvement of Machining by the Vibroacoustic Diagnostics of Electrophysical Processes//Russian Engineering Research, 2015, Vol. 35, No. 11, pp. 801-806.
16. S. N. Grigor'ev, M. P. Kozochkin, S. V. Fedorov, A. N. Porvatov, A. A. Okun'kova, Study of Electroerosion Processing by Vibroacoustic Diagnostic Methods//Measurement Techniques, Vol. 58, No. 8, November, 2015. pp. 878-884.
17. Григорьев С. Н., Синопальников В. А., Тершин М. В., Гурин В. Д. Контроль параметров процесса резания на основе диагностирования инструмента и заготовки//Измерительная техника. 2012. № 5. С. 46-48.
18. Григорьев С. Н. Принципы создания многофункциональной системы числового программного управления технологическим оборудованием на базе общего ядра с открытой модульной архитектурой//Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2011. № 5. С. 1-11.
19. Маслов А. Р., Молодцов В. В. Моделирование колебаний инструментальной системы для растачивания отверстий//Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2014. № 4 (31). С. 196-199.
20. Волосова М. А. Исследование влияния комбинированной поверхностной обработки на физико-механические характеристики оксидной и нитридной режущей керамики//Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2013. № 2 (25). С. 39-43.

Innovative monitoring system of machining centers

M. P. Kozochkin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of sub-department «Higheffective technology of machining», MSTU «STANKIN».

A. R. Maslov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of sub-department «Higheffective technology of machining», MSTU «STANKIN».

A. N. Porvatov, Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of sub-department «Electrical Engineering, Electronics and Automation», MSTU «STANKIN».

A. N. Porvatova, Graduate student of sub-department «Electrical Engineering, Electronics and Automation», MSTU «STANKIN».

This paper describes an innovative system of continuous diagnosis of the current state of the machining centers based on collecting, processing and analysing information from external sensors of force, power, vibration, acoustic emission and temperature.

Keywords: diagnosis, monitoring, information and control system, sensors, data acquisition and vibration.