

УДК 621.9.06-529

С.А. Зелинский, канд. техн. наук, В.В. Натальчишин, Одесса, Украина

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОДУЛЯЦИЕЙ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ В МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ С ЧПУ

Підвищення ефективності лезвийної обробки нежорстких деталей вимагає застосування нових технологічних рішень. Одним з таких рішень є концепція придушення регенеративних коливань за рахунок модуляції швидкості різання. У роботі розглядаються різні варіанти реалізації додаткової коригуючої ланки системи управління металорізальних верстатів з функцією модуляції швидкості різання. Вказуються переваги і недоліки кожного з варіантів. Наведена оригінальна структурна схема системи та наводиться опис її практичної реалізації на фрезерному верстаті ОММ64 з системою ЧПК SINUMERIK 802D.

Повышение эффективности лезвийной обработки нежестких деталей требует применения новых технологических решений. Одним из таких решений является концепция подавления регенеративных колебаний за счет модуляции скорости резания. В работе рассматриваются различные варианты реализации дополнительного корректирующего звена системы управления металлорежущим станком с функцией модуляции скорости резания. Указываются преимущества и недостатки каждого из вариантов. Приведена оригинальная структурная схема системы и приводится описание ее практической реализации на фрезерном станке ОММ64 с системой ЧПУ SINUMERIK 802D.

A further increase in the efficiency of processing of the blade is not rigid parts requires the use of new technological solutions. One such area is becoming a concept of regenerative oscillation suppression by modulation of the cutting speed. The paper discusses the various embodiments of the additional correction link management function of a machine tool with a cutting speed of modulation. Shows the advantages and disadvantages of each option. Shows a block diagram of the original system and describes its implementation on a milling machine with CNC system OMM64 SINUMERIK 802D.

Введение. В авиационной, энергетической и других отраслях машиностроения достаточно широко применяется класс деталей сложной криволинейной формы, таких как, моноколеса, турбинные лопатки, лопасти и т. д. Как правило, это ответственные детали механизмов и поэтому к ним предъявляются высокие требования по точности обработки и качеству поверхности.

Обработка деталей этого класса чаще всего осуществляется методом контурного фрезерования на станках с ЧПУ. Причем, контурное фрезерование концевыми фрезами, обычно, является финишной операцией.

Эффективность обработки, и качество поверхности, снижаются из-за вибраций, возникающих в процессе резания. Причем, природа возникновения вибраций связана с различными факторами. Среди основных факторов, можно выделить недостаточную жесткость технологической системы (ТС), термомеханические явления процесса резания и регенеративные вибрации.

Вибрации приводят к возникновению регенеративных колебаний, что резко ухудшает точность, шероховатость поверхности, увеличивает скорость износа инструмента.

Анализ последних исследований и публикаций. К настоящему времени, разработаны и созданы научные основы динамики металлорежущих станков, выполнены и опубликованы большие объемы научно-исследовательских работ по повышению динамической стабильности процессов резания путем повышения жесткости и демпфирующей способности ТС, выбора оптимальных режимов и стратегий обработки. Результаты этих исследований и работ позволили значительно расширить границы зон оптимальных режимов резания и повысить производительность обработки. Вместе с тем возможности известных технических решений в значительной степени уже исчерпаны, что определяет необходимость поиска новых путей.

Одним из новых путей является концепция использования переменной скорости резания для гашения регенеративных автоколебаний. Основы концепции изложены в [1] где приводится теоретическое обоснование того факта, что варьированием частоты и глубины модуляции скорости резания можно добиться положительного результата в гашении регенеративных колебаний.

В работах [2, 3] разрабатывается концепция подавления регенеративных колебаний за счет периодического или случайным образом изменяемой скорости резания. В частности указывается, что устойчивый результат гашения автоколебаний может дать принудительное создание переменного периода волны на поверхности резания, который определяется частотой колебаний ТС вдоль оси X , перпендикулярной к поверхности резания, и скоростью движения *последней* вдоль оси Z , т.е. скоростью резания.

Промышленное внедрение способов механической обработки с переменной скоростью резания сдерживается тем обстоятельством, что современные металлорежущие станки не обладают способностью модулировать скорость резания, а серийно выпускаемых технологической оснастки и инструментов такого назначения не существует. Этот путь является более универсальным и перспективным, но требует разработки новых систем управления приводами современных металлорежущих станков или доработки существующих систем, с целью реализации возможности программного модулирования скорости резания, непосредственно в процессе обработки.

Цель работы. Целью работы является создания на базе фрезерного станка с ЧПУ SINUMERIK 802D системы управления, позволяющей осуществлять модуляцию скорости резания при фрезеровании. Разработанная система должна обеспечивать возможность варьирования величины скорости вращения шпинделя по периодическому закону с заданной глубиной и частотой модуляции.

Изложение основного материала. Существуют различные способы снижения уровня вибраций. Классические решения основаны на увеличении жесткости технологической системы.

Однако, в случае обработки вышеуказанного класса деталей, увеличение жесткости технологической системы не всегда можно реализовать по двум основным причинам. Первая состоит в том, что рассматриваемые детали имеют малую жесткость и сложную геометрическую поверхность, что создает трудности использования демпфирующих элементов и как следствие, обрабатываемая деталь является самым вибронестойчивым элементом технологической системы. Вторым вибронестойчивым элементом ТС, в случае контурного фрезерования, концевыми фрезами, малого диаметра $D_{фр}$ с большой длиной вылета фрезы L является инструмент.

Кроме этого, повышение жесткости ТС не устраняет основной фактор возникновения вибраций – регенеративные колебания. Регенеративные колебания, как вид автоколебаний, существуют постоянно и не затухают из-за переменной силы резания. Осциллировать силу резания заставляют переменные параметры, такие как толщина среза, угол зацепления между фрезой и заготовкой, а также периодическое появление нароста на режущей кромке, причем частота образования и скола нароста равна частоте колебания силы резания.

Поэтому, современные методы гашения регенеративных колебаний, основаны на управлении частотой вращения шпинделя (скоростью резания).

Реализовать этот метод можно двумя различными путями:

1. Определение скорости резания, обеспечивающей безвибрационную обработку, на основе математической модели заложенной в ЧПУ станка и связывающую параметры вибраций и режимы обработки (скорость) для конкретных условий протекания процесса резания в реальном масштабе времени с автоматической модуляцией (коррекцией) скорости резания по данным модели.

2. Оснащение металлорежущего станка системой управления, позволяющей осуществлять модуляцию скорости резания.

Реализация, как первого, так и второго методов связана с определенными проблемами. Реализация первого способа затруднена в связи с тем, что в математической модели должно быть учтено большое количество взаимосвязанных переменных факторов, в том числе случайного характера. Поэтому практическая реализация этого метода на металлорежущем станке, оснащенный самыми современными ЧПУ, весьма трудоемка.

Реализация второго метода на основе использования программных методов модуляции скорости резания в металлорежущих станках обусловлена проблемами, связанными со «встройкой» специального корректирующего звена в систему ЧПУ.

Современные системы ЧПУ позволяют производить изменение величины скорости вращения шпинделя в достаточно широком диапазоне за определенный промежуток времени.

Рассмотрим возможные конфигурации корректирующих звеньев, работающих совместно с системой ЧПУ SINUMERIK 802D.

SINUMERIK 802D это система ЧПУ, объединяющая все компоненты системы – NC, PLC, HMI и коммуникационные задания в единый блок. Цифровые привода подключаются посредством интерфейса DRIVE-CLiQ. Периферия системы, модули входных и выходных сигналов PLC подключаются по промышленной локальной шине PROFIBUS. В качестве привода используется цифровой привод SIMODRIVE (рис. 1). Такая конструкция обеспечивает очень простой и надежный монтаж с минимальным количеством соединительных кабелей. В сочетании с модульным построением привода, в данной системе управления достигается максимальная гибкость. Широкий набор функций системы управления делает это решение идеальным для использования в стандартных токарных и фрезерных станках, как для простых механизмов, так и для 3х-координатных станков со сложным формообразованием.

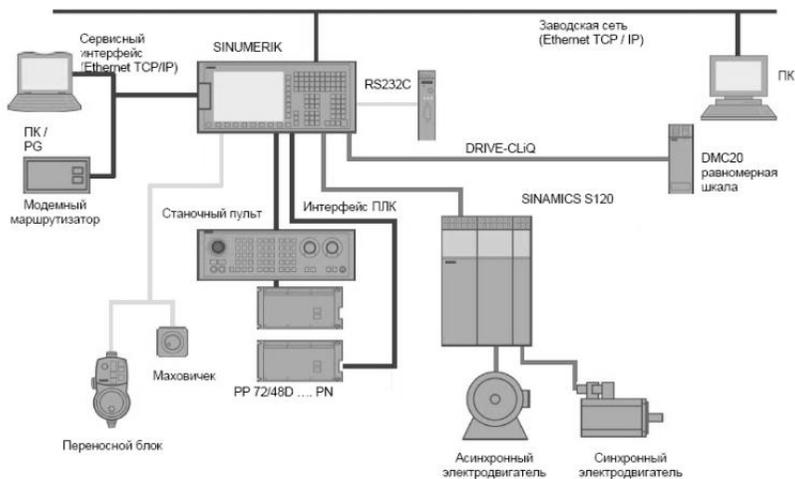


Рисунок 1 – Структурная схема системы ЧПУ SINUMERIK 802D

Данная система ЧПУ представляет собой достаточно закрытую систему. В частности, обмен информацией между системой ЧПУ и приводом шпинделя осуществляется в цифровой форме по промышленной шине PROFIBUS. Это исключает возможность осуществлять, в ходе выполнения управляющей

программы, коррекцию задания скорости вращения шпинделя изменением задающего сигнала, направленного от ЧПУ к приводу. Кроме того, ЧПУ может иметь в наличии систему обратной связи, контролирующую соответствие задания скорости вращения с реальной величиной. При превышении величины заданного порогового значения, ЧПУ получает сигнал о неисправности системы, что в свою очередь ведет к аварийной остановке системы.

Существует несколько вариантов реализации возможности осуществлять коррекцию скорости вращения шпинделя по внешнему управляющему сигналу.

Первый путь состоит в создании дополнительной адаптивной системы управления. SINUMERIK 802D позволяет в ходе выполнения управляющей программы (в ходе обработки детали) анализировать состояние нескольких управляющих входов. И по результатам этого анализа производить корректировку хода выполнения программы. Однако, эта возможность должна быть дополнительно поддержана производителем станка в ходе привязки системы ЧПУ к конкретному станку. Сама управляющая программа должна быть составлена таким образом, чтобы периодически анализировать состояние управляющих входов и вносить соответствующие коррекции в ход обработки. Реализация такой структуры представлена на рис. 2.

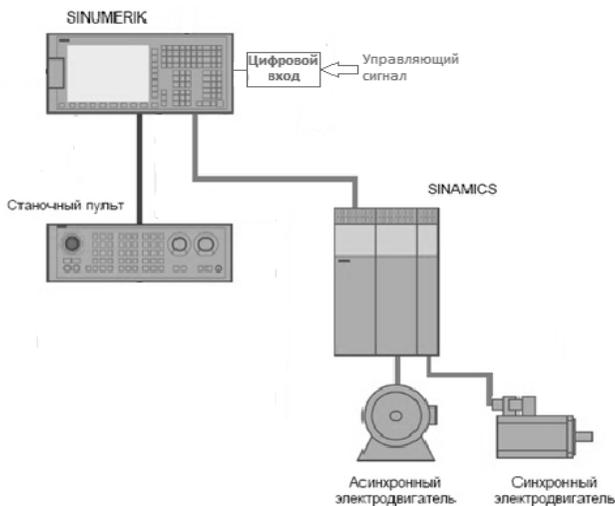


Рисунок 2 – Схема реализации управления через PLC

Возможности системы ЧПУ позволяют запрограммировать систему таким образом, чтобы коррекция обработки вносилась по состоянию управляющих входов и без написания специальных управляющих программ.

Реализовать эту возможность можно только непосредственно на предприятии-изготовителе станка, запрограммировав соответствующим образом PLC.

Второй, предложенный в статье путь состоит в имитации сигналов, приходящих в систему ЧПУ со станочного пульта. На станочном пульте расположены два механических корректора – величины подачи и скорости вращения шпинделя. Система ЧПУ постоянно опрашивает состояние этих корректоров и в зависимости от их положения корректирует задания, отправляемые на приводы (рис. 3).

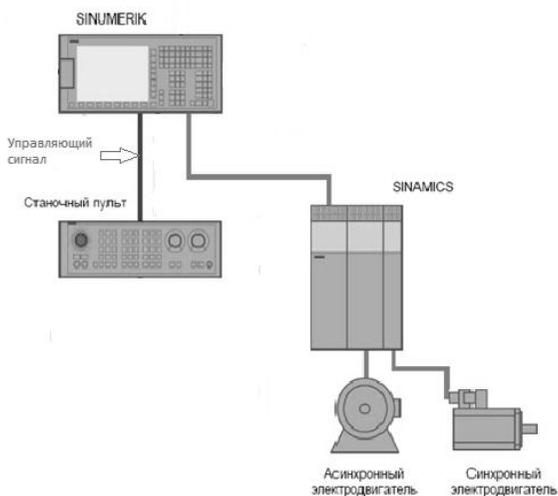


Рисунок 3 – Схема реализации управления имитацией управляющих сигналов

Информация с корректоров снимается в виде кода Грея. Важным моментом является то, что по этому интерфейсу не передается никакая другая информация. Этот способ накладывает определенное ограничение на диапазон коррекции. Для величины скорости вращения шпинделя диапазон составляет 50% - 120% от величины, указанной в программе. Допустимая минимальная дискретность изменения составляет 5% от величины заданной в программе. Этот путь наиболее простым в реализации, не требует больших трудозатрат и может быть легко реализован на других системах ЧПУ.

Предлагаемая система модулирования скорости вращения шпинделя состоит из двух модулей – аппаратного и программного.

Аппаратный модуль состоит из блока ввода-вывода E14-140, подключенного к системе ЧПУ Siemens 802D и персональному компьютеру. Подключение осуществляется между станочным пультом и модулем

интерфейса МСРА. Такое подключение позволяет блоку E14-140 имитировать сигнал от корректора скорости вращения шпинделя станочного пульта. В свою очередь, блок E14-140 также подключен через интерфейс USB к персональному компьютеру, который и непосредственно управляет процессом модуляции.

Модуль E14-140 представляет собой малогабаритный многофункциональный USB-модуль аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразователя общего назначения. Основное назначение модуля в системе – осуществление цифрового асинхронного ввода-вывода значений.

Программный модуль выполнен на платформе Labview. Блок ввода-вывода E14-140 имеет специальную библиотеку, позволяющую реализовывать функцию асинхронного чтения и записи данных в модуль в среде Labview. Для управления скоростью вращения шпинделя необходимо задавать следующие параметры: верхняя и нижняя границы диапазона изменения частот вращения шпинделя, частота изменения скорости вращения (рис. 4).

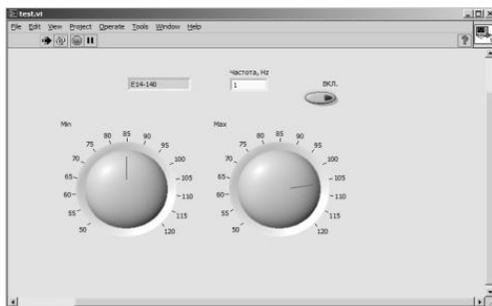


Рисунок 4 – Панель управления программного модуля

Изменение скорости вращения шпинделя осуществляется по периодическому импульсному закону – в первую половину периода задается нижняя граница частоты вращения, во вторую половину периода – верхняя граница.

Алгоритм системы можно сформулировать следующим образом. Первоначально необходимо задать параметры работы системы – верхняя граница диапазона изменения частоты вращения шпинделя (в процентах), нижняя граница диапазона и частота модуляции. В программном модуле заданные значения параметров диапазона преобразовываются в соответствующие значения в коде Грея. Соответствующее бинарное значение устанавливается на цифровых выходах модуля E14-140. Система ЧПУ, считав данное значение, производит корректировку скорости вращения шпинделя. При этом ход выполнения управляющей программы не изменяется. Процесс

корректировки происходит параллельно, и распространяется на все операции и инструменты, используемые в технологическом процессе. Через промежуток времени, равный половине периода, программный модуль изменяет значение на цифровых выходах модуля E14-140, в соответствии с заданными параметрами диапазона. Соответствующим образом изменит задание на скорость вращения шпинделя и система ЧПУ. Далее процесс повторяется.

Предложенная реализация системы управления шпинделем имеет ряд преимуществ:

- простота встройки корректирующего звена в станок с ЧПУ;
- система с корректирующим звеном может работать с различными системами ЧПУ без их существенных доработок и модернизаций;
- система может быть модернизирована для изменения скорости вращения шпинделя по другим законам – импульсный (кратковременное изменение скорости), треугольный, кратковременный останов шпинделя.

Результаты. Реализованная на базе фрезерного станка ОММ64 система управления может быть использована для осуществления научно-исследовательских работ по подавлению регенеративных колебаний за счет модулирования скорости резания.

Дальнейшая реализация предложенной системы позволит реализовывать другие алгоритмы управления модуляцией скорости резания. Использование в работе в качестве программной среды пакета Labview позволит использовать треугольный, гармонический, случайный и другие предложенные законы управления модуляцией.

Выводы. В результате проведенной исследовательской работы разработаны принципы работы и представлены конструктивные решения для введения в систему ЧПУ специального корректирующего звена с возможностью варьирования частоты вращения шпинделя по периодическому импульсному закону с заданной глубиной и частотой модуляции.

Список использованных источников: 1. *Свинин В.М.* Фрезерование с модулированной скоростью резания/ Под ред. *А.И. Промтова* – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007, – 304 с. 2. *Жарков, И.Г.* Вибрации при обработке лезвийным инструментом / И.Г. Жарков. -Л.:Машиностроение, 1986. -184 с. 3. *S. Seguy, T. Insperger, L. Arnaud, G. Dessein, G. Peign'e.* On the stability of high-speed milling with spindle speed variation, *Int. J. Adv. Manuf. Techn.* 48 (2010) 883–895. 4. SIEMENS SINUMERIK 802D. Справочник пользователя: Управление и программирование. 2-е переработанное издание, 2003г. /Siemens AG (Erlangen), R.&S. Keller GMBH (Wuppertal).

Bibliography (transliterated): 1. *Svinin V.M.* Frezerovanie s modulirovannoj skorost'ju rezanija/ Pod red. *A.I. Promtova* – Irkutsk: Izd-vo IrTTU, 2007, – 304 s. 2. *Zharkov, I.G.* Vibracii pri obrabotke lezviynym instrumentom / I.G. Zharkov. -L.:Mashinostroenie, 1986. -184s. 3. *S. Seguy, T. Insperger, L. Arnaud, G. Dessein, G. Peign'e,* On the stability of high-speed milling with spindle speed variation, *Int. J. Adv. Manuf. Techn.* 48 (2010) 883–895. 4. SIEMENS SINUMERIK 802D. Spravochnik pol'zovatel'ja: Upravlenie i programirovanie. 2-e pererabotannoe izdanie, 2003g. /Siemens AG (Erlangen), R.&S. Keller GMBH (Wuppertal).

Поступила в редколлегию 21.11.2014