

УДК 621.92.01



В.П. Ларшин,
д.т.н., професор,
Одеський
національний
політехнічний
університет
vplarshin@rambler.ru



Н.В. Лищенко,
доцент,
Одеський
національний
політехнічний
університет
odmnv@rabler.ru

ВИБРОДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ОТВЕРСТИЙ НА СТАНКЕ С ЧПУ ТЕМПЕРАТУРА МАКРО - И МИКРОПРЕРЫВИСТОГО ШЛИФОВАНИЯ

В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко.

Вибродиагностика технологической системы при сверлении отверстий на станке с ЧПУ. Дана характеристика способов технологической вибродиагностики для высокоскоростных станков с ЧПУ и результаты экспериментальных исследований системы технологической диагностики на основе измерительного комплекса NI CompactDAQ с аппаратным и программным обеспечением.

V.P. Larshin, N.V. Lishchenko.

Vibrodiagnostics of the technological system at CNC pitch-hole drilling. Description of methods of technological vibrodiagnostics is given for CNC high-speed machine-tools and results over of experimental researches of the technological diagnostics system are brought on the basis of measuring complex NI CompactDAQ with the special hardware and software.

Одним из факторов, ограничивающих производительность обработки на современных станках с ЧПУ, является возможность возникновения неуправляемых колебаний инструмента относительно обрабатываемой заготовки, приводящих к появлению волнистости на обработанной поверхности и преждевременному выходу инструмента из строя и его поломке. Одновременное увеличение скорости вращения шпинделя и глубины резания на современных высокоскоростных станках с ЧПУ и обрабатывающих центрах часто приводит к возникновению вибраций в технологической системе. В этом случае наибольшая возможная скорость шпинделя может оказаться не самым рациональным вариантом в подсистеме «шпиндель-резцедержатель-инструмент» для достижения максимальной производительности обработки, что не позволяет использовать высокие потенциальные возможности современных высокоскоростных станков с ЧПУ. Особенно актуальна проблема вибраций в диапазоне высоких частот вращения шпинделя: 10000...24000 мин⁻¹. Например, предприятие ОАО "Стерлитамак – М.Т.Е." приобрело у фирмы Franz Kessler GmbH (Германия) лицензию на сборку шпиндель – моторов ряда LC100, что позволило изготавливать наряду с механическими шпинделями с числом оборотов до 8000 мин⁻¹, шпиндель – моторы, имеющие скорость вращения до 12000 мин⁻¹. В этой связи динамические характеристики станка должны быть надежно защищены встроенной системой технологической вибродиаг-

ностики. С целью разработки такой системы применительно к станкам ОАО "Стерлитамак – М.Т.Е." выполнены данные исследования.

Сущность метода. В физической динамике различают два вида вибраций: вынужденные колебания (forced vibration) и автоколебания (free vibration) [1].

Вынужденные колебания возникают под действием периодической силы, например, из-за дисбаланса вращающегося шпинделя станка. В этом случае источник колебаний заставляет вибрировать (forced vibration) элементы технологической системы. В результате в частотном спектре появляются составляющие основной частоты вращения шпинделя и кратные ей.

Свободные колебания, как правило, возникают при резком устранении воздействия силы резания на упругую систему станка. Эти колебания характеризуются собственной (естественной) частотой или несколькими такими частотами. Последнее характерно для нелинейных механических систем. Известно, что собственная частота колебаний определяется жесткостью упругой системы и её приведенной массой. Когда зуб режущего инструмента входит в обрабатываемый материал подсистема «шпиндель-резцедержатель-инструмент» деформируется под действием силы резания, а после прекращения действия силы резания в указанной подсистеме возникают свободные колебания, имеющие свою собственную частоту. При этом предполагается, что жесткость подсистемы "стол – приспособление – заготовка" выше и может не учитываться [2].

Если следующее за первым воздействие зуба инструмента не совпадает по частоте с естественными колебаниями шпинделя, то увеличивается толщина стружки и возрастает сила резания. Это в свою очередь, вызывает более ощутимую деформацию системы, что ведет к возникновению более сильной вибрации. Такие колебания принято называть автоколебаниями или "дребезжанием" (chatter). При этом система вибрирует со своей собственной частотой, силы резания существенно возрастают, что отрицательно сказывается на точности обработки.

Избежать возникновения "дребезжания" (chatter) при высокоскоростном резании возможно в том случае, если частота воздействия зуба инструмента согласуется с собственной частотой подсистемы «шпиндель-резцедержатель-инструмент». Другими словами, когда волнистость поверхности и колебания резания находятся в фазе. При такой скорости шпинделя толщина стружки остаётся постоянной, резание идет плавно (бесшумно) и резец может уходить на большую глубину без возникновения дефектов. Это явление называют «бесшумной точкой» (sweet spot).

Существует два основных способа определения скорости вращения шпинделя, при которой не возникает вибрации типа "дребезжание".

По первому способу определяют собственную частоту подсистемы «шпиндель-резцедержатель-инструмент» при помощи датчика вибраций (accelerometer) и импульсного молотка (impact hammer), на основании чего оп-

ределяют передаточную функцию и производят аналитическое прогнозирование колебаний путем расчета «бесшумной точки».

По второму способу для определения "бесшумной точки" шпинделя выполняют контрольные резания. Этот способ позволяет получить более точные данные, но требует проведения большого числа экспериментов, которые проводят при различных сочетаниях скорости шпинделя и глубины резания. Найденные экспериментально режимы с "бесшумными точками" затем программируют для обеспечения стабильной высокопроизводительной работы технологической системы станка (при определенной комбинации станка, резцедержателя и инструмента). Рационально применять оба указанных метода для получения более достоверной информации о колебаниях в упругой системе.

Для изучения принципиальной возможности вибродиагностики упругой системы станка с ЧПУ на основе современной измерительной системы фирмы «National Instruments» (NI) проведены экспериментальные исследования осевых колебаний спирального сверла диаметром 2,85 мм, изготовленного из стали P18. Обработку производили на обрабатывающем центре мод. V500/5 с ЧПУ производства ОАО "Стерлитамак – М.Т.Е." при сверлении глухих отверстий (глубина сверления 8 мм) в пластине из нержавеющей стали типа 14X17H2. Использовалась оправка HSK 63-2/20-100 с цанговым зажимом. Система ЧПУ: SIEMENS SINUMERIC 840 D.

Режимы сверления: частота вращения шпинделя 509 мин⁻¹ (номинальная и максимальная частоты вращения шпинделя: 1500 и 8000 мин⁻¹); осевая подача 0,06 мм/об (30,54 мм/мин). Для уменьшения времени испытаний сверление производили без подачи технологической смазки в зону резания.

Измерительный комплекс представляет собой модульную USB систему типа NI CompactDAQ, которая содержит: аналого-цифровое синхронизирующее устройство, многоканальное шасси NI cDAQ-9172, подключенное к промышленному персональному компьютеру.

С помощью этого компьютера и программной среды LabVIEW 8.5 выполнены настройки фильтров и коэффициентов усиления измерительной системы применительно к вибропреобразователям типа AP2019 (Ø 3 x 3,6 мм) с частотным диапазоном 0,5...30000 Гц. Все действия по настройке и работе измерительного комплекса, включая выбор частоты выборки (sampling) сигналов, управляются прикладными программами LabVIEW 8.5, которые предварительно составлены в виде блок-схем из самостоятельных функциональных программируемых блоков.

Особенностью рассматриваемого комплекса является возможность создавать и настраивать измерительную систему сбора, обработки и отображения сигналов вибропреобразователей, установленных на неподвижном торце шпинделя станка по координате Z. Предварительно

найденная жесткость станка по осям X, Y и Z составляет, соответственно, 16,3; 21,6 и 48,5 Н/мкм [2].

Измерительный комплекс позволяет по анализу спектра виброколебаний в исследуемом диапазоне частот, не только фиксировать временные изменения осевых виброколебаний сверла, но также отображать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) этого же сигнала, которая является более информативным показателем изменений в работе сверла по мере его затупления и выхода из строя.

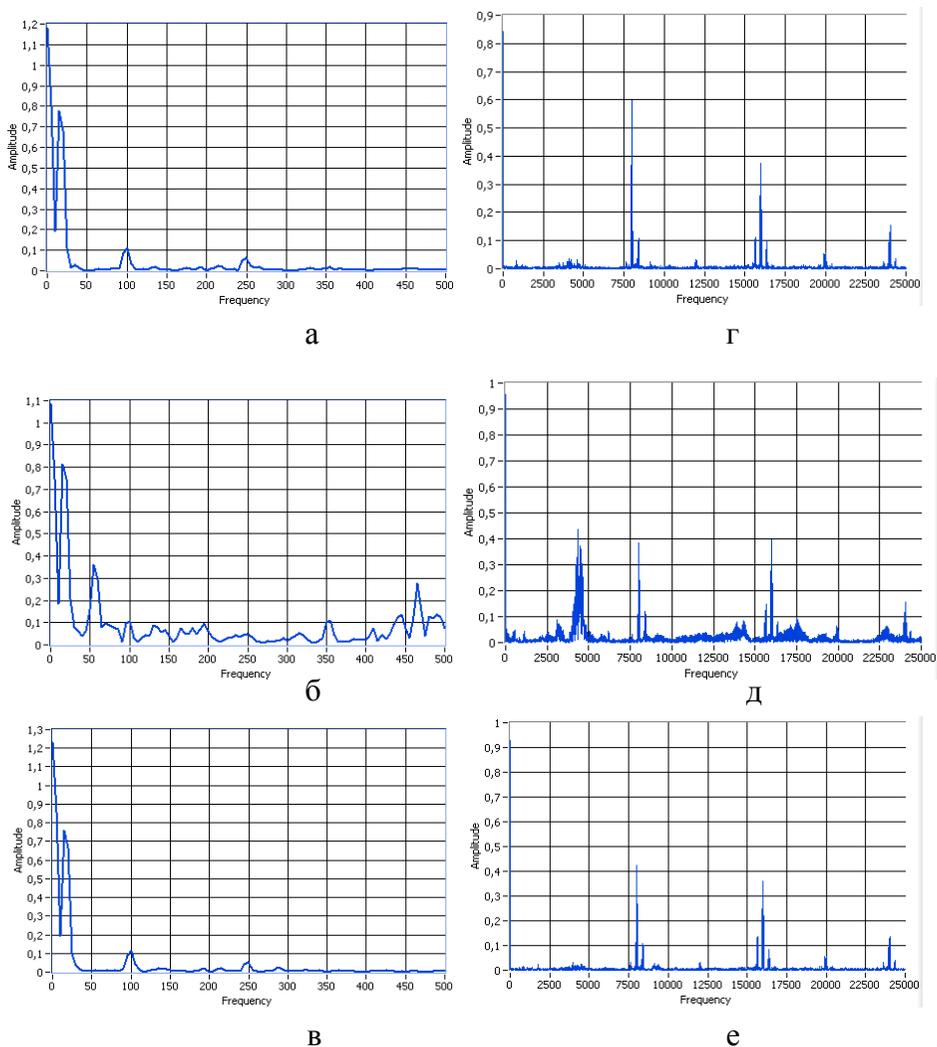


Рис. 1. Низкочастотная (0...500 Гц, левый столбик) и высокочастотная (0...25 кГц, правый столбик) части спектра АЧХ в начале цикла обработки (а,г), в момент, предшествующий поломке сверла (б, д), и после поломки сверла (в, е)

В частности по АЧХ можно определить значения собственных частот упругой системы станка мод. V500/5 (рисунок). поломке сверла, и после поломки сверла.

Для повышения достоверности экспериментальных данных каждый опыт проводили три раза. В качестве примера на рисунке показаны АЧХ в различные моменты времени работы сверла: в начале работы, в момент, предшествующий

В результате анализа экспериментальных данных были установлены следующие закономерности формирования колебаний в упругой системе станка мод. V500/5 по мере затупления сверла и выхода его из строя.

1. После включения шпинделя станка в низко – и высокочастотной части спектра появляются характерные гармонические составляющие. В низко-частотной части спектра: 100, 250 Гц (рисунок, а). В высокочастотной части: 4, 8, 16 и 24 кГц (рисунок, г).

2. По мере затупления сверла спектр колебаний непрерывно изменяется путем добавления новых частотных составляющих сигнала и увеличения их амплитуд.

Перед поломкой сверла (рисунок, б, д) амплитуды гармонических составляющих принимают максимальные значения, а после поломки (рисунок, в, е) резко уменьшаются до своих исходных значений.

3. Наиболее чувствительной к изменению режущих свойств инструмента оказалась гармоника с частотой 4 кГц (рисунок, д).

Видно, что амплитуда этой гармоники перед поломкой инструмента увеличилась в 10 раз: от 0,04 (рисунок, г) до 0,45 делений шкалы (рисунок, д).

Выводы

1. Проведенные экспериментальные исследования показали, что современные малогабаритные преобразователи колебаний типа AP2019 с частотным диапазоном 0,5...30000 Гц могут быть эффективно встроены в технологическую систему станка с ЧПУ, не нарушая его работу и не затрудняя обслуживание станка.

2. Метод встроенного в систему LabVIEW 8.5 преобразования временных характеристик колебательного процесса в частотные его характеристики позволяет оперативно выявить гармонические составляющие спектра, ответственные за состояние режущего инструмента.

В рассматриваемом случае такой составляющей является гармоника с частотой 4 кГц (рисунок, г, д, е).

3. Для определения "бесшумных точек" (sweet spots) и соответствующих им режимов обработки необходимо выбрать оптимальную величину коэффициента усиления измерительной системы, так как имеющаяся чувствительность оказалась недостаточной для вибродиагностики и поиска указанных "бесшумных точек", что связано с малыми усилиями резания на сверле диаметром 0,85 мм (при мощности двигателя главного привода 7 кВт).

4. Помимо имеющихся вычислительных возможностей измерительной системы в условиях действия помех необходимо иметь дополнительную возможность формирования тренда состояния режущего инструмента, причем тренда, построенного на основе стабилизирующей фильтрации измерительного сигнала, когда отдельные колебания амплитуд этого сигнала, как в большую, так и в меньшую сторону, не должны оказывать мгновенного влияния на результирующий тренд.

Для этого можно применить, например, метод медианной фильтрации [3], соответствующую программируемую задержку принятия решения [4] и ряд других приемов и методов.

Литература

1. Badravy Sinan. Cutting Dynamics of High Speed Machining // Technology Update. – Volume 8. – Issue 1, 2001. – P. 24-26.
2. Кудояров Р.Г. Исследование жесткости многоцелевого станка 500V/5 / Р.Г. Кудояров, Р.Р. Башаров // Межвузовский научный сборник «Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий». – Уфа, УГАТУ, 2011. – с.234-240.
3. Ларшин В.П. Экспериментальное исследование технологических смазок при сверлении / В.П. Ларшин, Н.В. Лищенко, Е.А. Трифонова // Тр. Одес. политехн. ун-та. – Одесса, 2009. – Вып. 2(32). – С. 31-36.
4. Синопальников В.А. Надежность и диагностика технологических систем: Учебник / В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев. – М.: Высш. шк., 2005. – 342 с.