

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ СВЕРЛЕНИИ

Албагачиев А.Ю., Михеев А.В., Тананов М.А.

*Институт машиноведения имени А.А. Благонравова Российской академии наук,
Москва*

Ключевые слова: вибрации, сверло, продольные колебания, крутильные колебания, силы резания, спектрограмма.

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы измерения механических колебаний инструмента при сверлении на токарном станке. Дана модель процесса резания, раскрывающая причины возникновения колебаний. Отражено влияние вибраций станка. Описано устройство разработанных датчиков линейных перемещений и способ компенсации неравномерности вращения шпинделя и движения подачи.

MEASURING SYSTEM FOR THE STUDY OF CUTTING FORCE FLUCTUATIONS DURING DRILLING

Albagachiev A.Yu., Mikheev A.V., Tananov M.A.

*Mechanical Engineering Research Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow*

Keywords: vibrations, drill, longitudinal vibrations, torsional vibrations, cutting forces, spectrogram.

Abstract. The article deals with the issues of measuring mechanical oscillations of a tool during drilling on a lathe. The model of the cutting process revealing the reasons of oscillations is given. The influence of machine tool vibrations is reflected. The device of the developed linear displacement sensors and the method of compensation of non-uniformity of spindle rotation and feed motion are described.

При сверлении износ инструмента, точность получаемых размеров, погрешности формы и микрорельеф обработанной поверхности определяются формой, амплитудой и частотой колебаний.

Продольные и крутильные колебания при сверлении определяются преимущественно упругими свойствами подсистемы инструмента, что даёт возможность построения модели с одной приведённой массой и моментом инерции, обладающей двумя степенями свободы – крутильной и осевой. Расчетная схема такой системы приведена в работе [1] и показана на рисунке 1.

Действие крутящего момента резания приводит к закручиванию сверла и, следовательно, к его деформации вдоль оси. Осевая сила резания вызывает закручивание сверла. Смещение под действием момента резания приводит к изменению толщины срезаемого слоя под действием осевого момента сил, что влияет на момент резания и осевую силу. Деформация сверла связывает крутильные и осевые колебания.

По экспериментальным данным, например в [2], при работе станка кроме колебаний, вызванных процессом резания, возникают вибрации из-за неуравновешенности валов и заготовки, периодическими силами из-за погрешностей зубчатых зацеплений, погрешностей шлицевых и шпоночных

соединений, волнистости дорожек в подшипниках качения. Частота большинства видов колебаний станка равна или кратна частоте вращения шпинделя, что показано на спектрограмме крутильных колебаний шпинделя (рис. 2), при частоте вращения 3150об/мин.

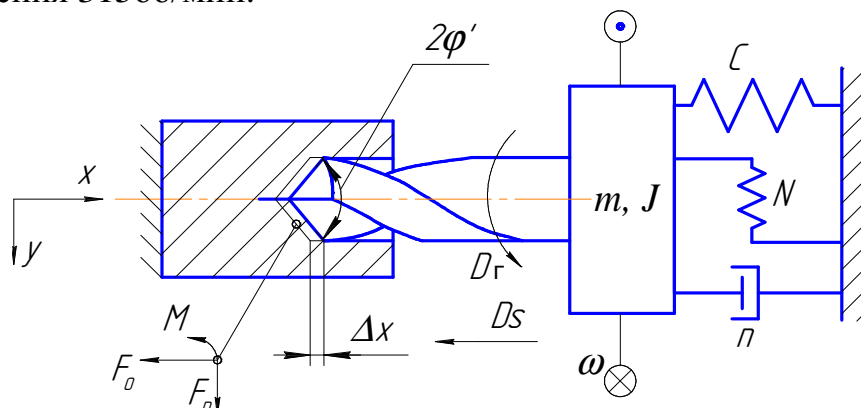


Рис. 1. Одномассовая динамическая модель процесса сверления: m – приведённая масса; J – осевой момент инерции; C – осевая жесткость сверильной головки; n – коэффициент демпфирования; N – крутильная жесткость; $2\phi'$ – угол при вершине сверла

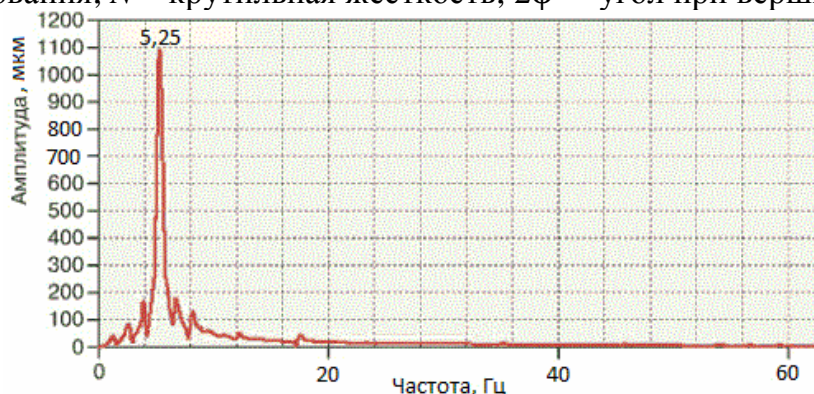


Рис. 2. Спектрограмма колебаний шпинделя

Все вибрации станка мешают исследованию собственных колебаний процесса резания. Исключить влияния внешних факторов на измерение перемещений инструмента под воздействием сил резания можно при помощи дополнительных датчиков непосредственно измеряющих параметры движения подачи и вращения шпинделя.

Структура измерительной системы, разработанной для устранения вибраций станка и неравномерности перемещений заготовки и инструмента, показана на рисунке 3. Осевые (сжатие-растяжение) и крутильные колебания рабочей части инструмента измеряются индуктивными датчиками. Сигналы датчиков преобразуются в цифровую форму при помощи аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и поступают на микроконтроллер, который накапливает данные и передаёт их в пакетном режиме в персональный компьютер (ПЭВМ) через конвертер интерфейсов.

Для компенсации движения подачи используется датчик перемещения, неподвижно закреплённый на станине, аналоговый сигнал с которого подвергается двойному дифференцированию при помощи каскадов на операционных усилителях. После дифференцирования установлен фильтр нижних частот (ФНЧ) для исключения высокочастотных помех. Отфильтрованный сигнал вычитается из сигнала датчика сжатия инструмента.

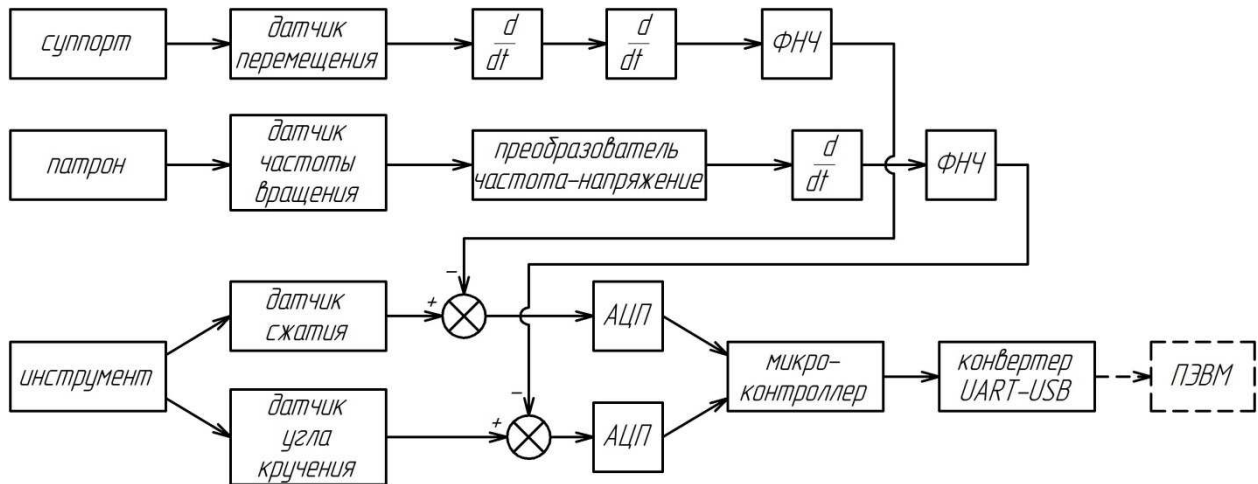


Рис. 3. Структурная схема измерительной системы

Исключение неравномерности вращения шпинделя производится посредством датчика частоты вращения. Сигнал этого датчика представляет собой импульсы с частотой кратной частоте вращения шпинделя. После преобразователя частота-напряжение получается аналоговый сигнал, пропорциональный угловой скорости, который подвергается дифференцированию и проходит ФНЧ. Отфильтрованный сигнал вычитается из показаний датчика угла кручения.

Обработка (компенсация статических погрешностей и программная фильтрация) и анализ полученных данных, в том числе построение спектрограмм, производится с применением программного обеспечения LabVIEW 2020.

Схема размещения датчиков при обработке показана на рисунке 4. Сверло 12 установлено в револьверную головку 1 станка. На хвостовике инструмента 10 закреплён кронштейн 2 с датчиками перемещения 5 и 6. Датчик перемещения 4 неподвижно закреплён на станке, он служит для измерения движения подачи. На спиральной части сверла установлен хомут 3 с продольной и поперечной пластинами, необходимыми для работы датчиков осевого перемещения 6 и закручивания 5. Обрабатываемая заготовка 11 закреплена в патроне станка 8. На заготовке размещён диск с прорезями, который совместно с оптопарой 9 образует датчик угловой скорости вращения шпинделя.

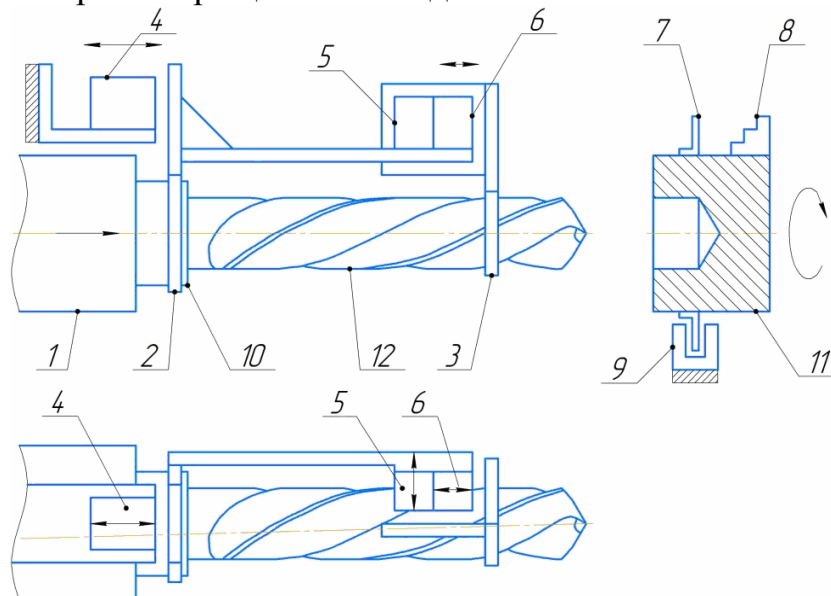


Рис. 4. Расположение датчиков

Принцип действия описываемого датчика линейных перемещений основан на сравнении частот опорного и перестраиваемого генераторов с помощью системы фазовой автоматической подстройки частоты (ФАПЧ). При этом частота перестраиваемого генератора изменяется под воздействием на катушку индуктивности его колебательного контура металлической пластины, закреплённой на объекте измерения. Индуктивный датчик спроектирован на основе данных, изложенных в литературе [3].

Структурная схема прибора показана на рисунке 5. Фазовый детектор (ФД) сравнивает фазы колебаний опорного (ГО) и перестраиваемого (Г) генераторов. В зависимости от разности фаз вырабатывается напряжение ошибки, которое усиливается усилителем (У), фильтруется в фильтре нижних частот (ФНЧ) и управляет частотой перестраиваемого генератора. Для увеличения чувствительности напряжение ошибки усиливается в усилителе постоянного тока (У). При точном соответствии частот генераторов выходной сигнал равен нулю.

Принципиальная схема датчика перемещений разработана исходя из принципов изложенных в [4] и изображена на рисунке 6.

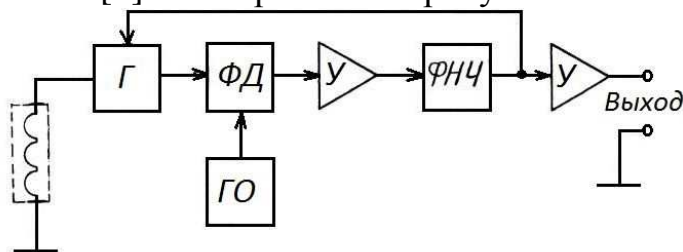


Рис. 5. Устройство датчика перемещений

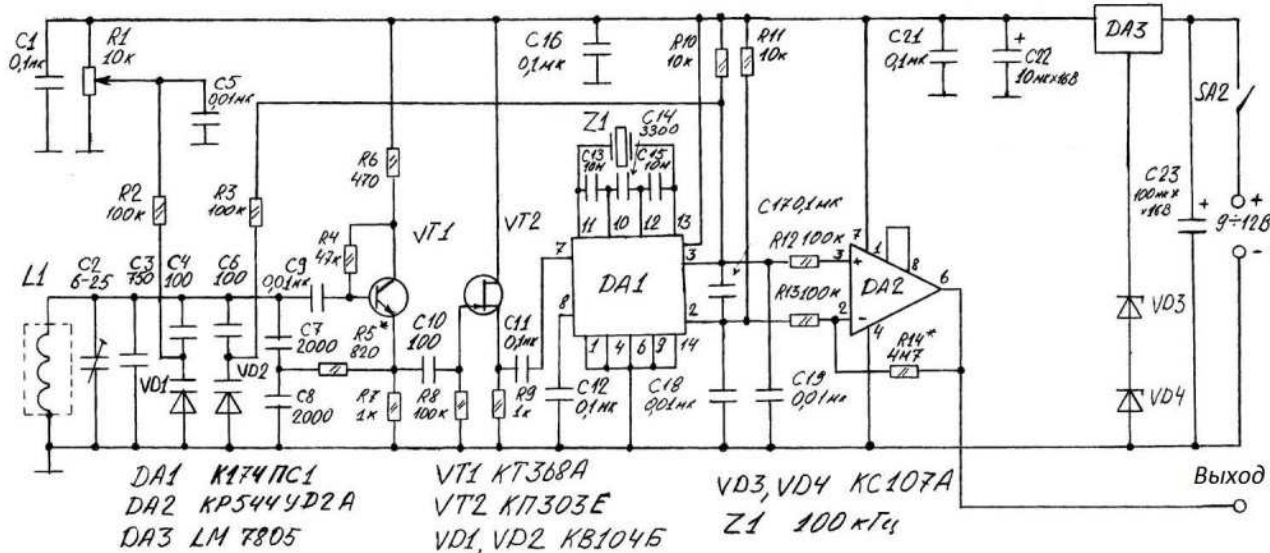


Рис. 6. Принципиальная схема датчика

Для подтверждения работоспособности предложенной измерительной системы проведены испытания при различных режимах резания. На рисунке 7 показана спектрограмма крутильных колебаний сверла при обработке жаропрочного сплава ХН73МВТЮ сверлом из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 1,5мм. Частота вращения 2160 об/мин, подача 20 мм/мин.

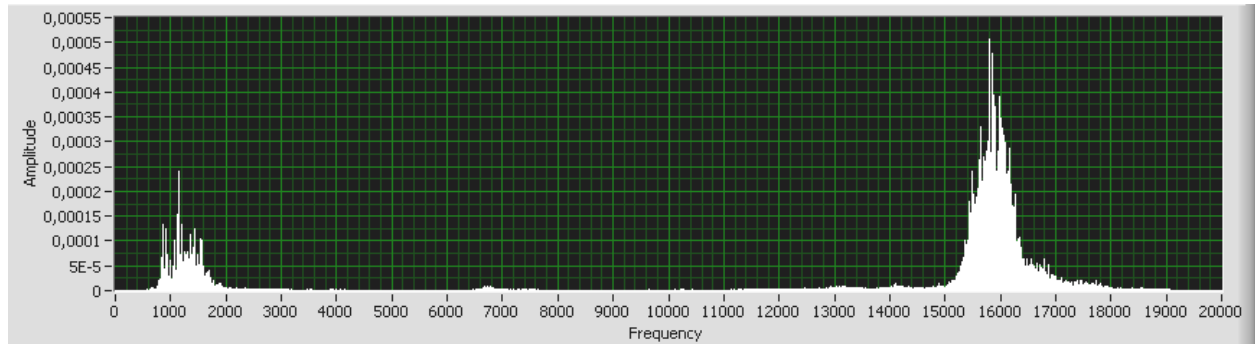


Рис. 7. Спектрограмма измеренных крутильных колебаний при сверлении

Частоте вращения 2160 об/мин соответствует частота 36 Гц. Как можно видеть на рисунке 7, основная частота и её гармоника отсутствуют, есть только более высокие частоты стружкообразования и резонансная частота инструмента, что подтверждает возможность применения разработанной измерительной системы при исследовании колебаний в процессе резания.

Список литературы

1. Албагачиев А.Ю., Михеев А.В. Колебания инструмента при сверлении труднообрабатываемых материалов // Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике: сборник научных трудов международной научно-технической конференции. Выпуск 2 (XXII). – М.: МИРЭА, 2016. – С. 199-201.
2. Пронякин В.И. Машины, механизмы и метрология XXI века // Проектирование будущего. Проблемы цифровой реальности: труды 2-й Международной конференции. – М.: ИПМ им. М.В. Келдыша, 2019. – С. 91-98.
3. Федотов А.В. Расчет и проектирование индуктивных измерительных устройств. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
4. Фомин А.А., Хорошавин А.И., Шелухин О.И. Аналоговые и цифровые синхронно-фазовые измерители и демодуляторы. – М.: Радио и связь, 1987. – 248 с.

Сведения об авторах:

Албагачиев Али Юсупович – д.т.н., профессор;
Михеев Александр Владимирович – научный сотрудник;
Тананов Максим Анатольевич – научный сотрудник.