УДК 621. 01

МЕТОД ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ИНСТРУМЕНТА

А.К.Алешин [1)], В.Г. Гущин [2)]

Предлагается метод диагностирования инструмента на основе анализа низкочастотных колебаний элементов станка. Особенность метода в источнике диагностической информации.

Современные методы диагностирования инструмента основаны на спектральном анализе виброакустических сигналов, сопровождающих процесс резания [1,2]. Генерация сигналов обусловлена акустической эмиссией в обрабатываемом материале при резании. Это упруго – пластическая энергия, высвобождающаяся в материале при его деформировании и разрушении. Как известно, она зависит от характера протекания таких процессов как скольжение границ зёрен, движение дислокаций, слияние и деление вакансий. Существенна её зависимость от плотности дислокаций, размера зёрен и распределения частиц включения в кристаллическом материале. Указанные физические процессы и характеристики материала имеют вероятностный, хаотический характер. Отсюда и силовое взаимодействие инструмента с обрабатываемым материалом имеет стохастическую природу. Сила резания содержит ярко выраженную случайную компоненту в виде “силового шума”, которая моделируется последовательностью импульсов [3.4,5,6]. Если импульс представляется полуволной косинусоиды, то спектральная плотность S(ω) такой последовательности описывается функцией :

$$S(\omega) = 2F((\cos(\omega\tau/2)/(1-(\omega\tau/\pi))(\sin(n\omega\check{T})/2)/(\omega\tau/2) , \quad (1)$$

где F – площадь одиночного импульса; ω – круговая частота; τ – длительность импульса; Ť- период следования импульсов; n- число импульсов в последовательности, которое успевает возникнуть до того времени, как первый импульс полностью закончится.

В результате воздействия силового шума возникают колебательные процессы инструмента и детали, которые условно делят на два вида: низкочастотные, с большой амплитудой и частотой от десятков герц до килогерца и высокочастотные, с малой амплитудой и частотой от нескольких килогерц до 1 МГц.

Предлагаемый способ диагностики основан на анализе низкочастотных колебательных процессов упругой системы станка. Способ рассматривается на примере работы стержневого инструмента - сверла (рис.1).

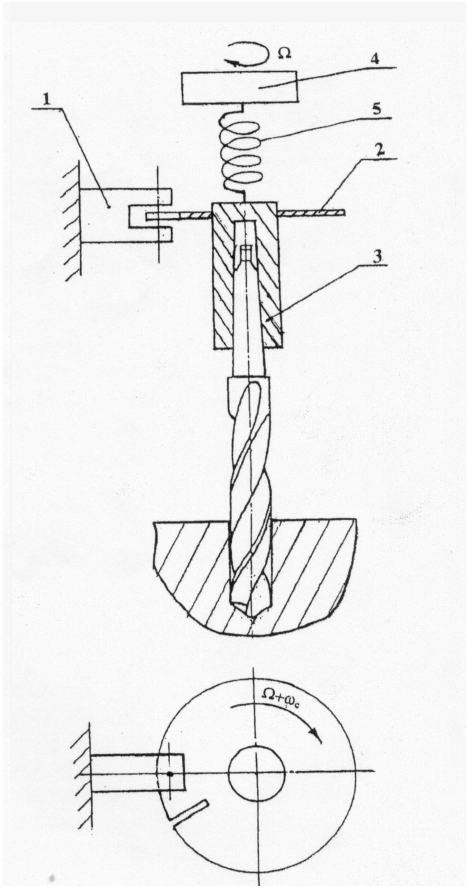


Рис. 1. Схема измерения интервалов времени

1 - оптический конечный выключатель; 2 – светонепроницаемый диск; 3 – шпиндель станка; 4 – привод вращения; 5 – упругая кинематическая цепь станка.

Особенность метода в источнике диагностической информации, в качестве которого используется время T поворота инструмента на один оборот. При многократных последовательных измерениях время T претерпевает случайные изменения, связанные с крутильными колебаниями сверла под действием крутящего момента от силы резания. Случайный характер времени T обусловлен тем, что крутящий момент от силы резания складывается из детерминированной $M_д$ и случайной M_c составляющих (силовой шум). Характер M_c зависит как от физических свойств обрабатываемого материала, так и от затупления инструмента. Поскольку кинематическая цепь 5 привода вращения инструмента обладает угловой податливостью, сверло и сопряженные с ним детали образуют колебательную систему, которая под действием момента M_c совершает крутильные случайные колебания. В результате полная угловая скорость вращения сверла – это сумма детерминированной и случайной составляющих. Если $\Omega(t)$ – детерминированная составляющая угловой скорости вращения шпинделя, а $\omega_c(t)$ – случайная составляющая, в том числе и от действия момента M_c, то фактическая угловая скорость равна алгебраической сумме: $\Omega(t) + \omega_c(t)$. Тогда угол поворота сверла $\varphi(t)$ – как функция времени, является случайным процессом:

$$\varphi(t) = \int_0^t (\Omega(t) + \omega_c(t))dt \qquad (2)$$

Поскольку поворот происходит всегда на один и тот же угол 2π радиан, время достижения случайным процессом $\varphi(t)$ этой границы является случайной величиной. Измерение времени T осуществляют фотоэлектрическим методом [7].

Измерительное устройство (Рис. 1) образуют фотоэлектрический выключатель конечного положения 1, устанавливаемый неподвижно вблизи шпинделя, и светонепроницаемый диск 2 с отверстием, закреплённый жестко на шпинделе 3 станка, в котором крепится сверло. Диск, вращаясь вместе со сверлом, прерывает световой поток фотоэлектрического выключателя, а отверстие открывает его. Открытие светового потока – сигнал начала счета интервала времени, повторное открытие – окончание счета. В качестве устройства измерения интервалов времени целесообразно использовать таймер персонального компьютера, средствами которого одновременно ведётся последовательный статистический анализ поступающих данных. Скорость счета импульсов таким способом составляет более 10^8 имп/с. Этого вполне достаточно для колебательных процессов с частотами не выше 1 кГц. Абсолютная погрешность измерения интервалов времени фотоэлектрическим методом составляет 10^{-7} с [7].

При наступлении этапа катастрофического износа сверла существенно меняется спектральный состав $S(\omega)$ компоненты M_c и резко возрастает колебательный характер силы резания. Если до этого этапа, в процессе равномерного износа инструмента, последовательно измеряемые случайные величины T_i образовывали стационарную случайную последовательность $\{T_i\}$ (i=1,2,3…), то начало катастрофического износа характеризуется нарушением стационарности. Применяя в реальном масштабе времени известные статистические методы обнаружения нарушения стационарного режима для последовательности $\{T_i\}$, можно определить наступление опасного момента по мере поступления экспериментальных данных о времени T_i [8,9].

Чувствительность метода и точность постановки диагноза достигаются за счет того, что измеряется параметр, непосредственно связанный с вращательным движением инструмента в процессе резания, а также за счет установки измерительного устройства прямо на диагностируемый инструмент. Этим существенно уменьшается маскирующий фон, создаваемый узлами станка.

Преимущество способа состоит в простоте и низкой стоимости средств измерения. Предлагаемый способ позволяет сразу получать данные в цифровом виде, что исключает дополнительные алгоритмы обработки и вторичную аппаратуру. Метод вполне может быть применён для технологических операций фрезерования цилиндрическими пальцевыми фрезами, операций растачивания на станках, оснащенных борштангами.

Литература

1. Синопальников В. А., Григорьев С. Н. Надежность и диагностика технологических систем. М.: МГТУ “Станкин”, 2003. 287 с.
2. Козочкин М. П., Смирнов В. В., Сулейманов И. У. Виброакустическая система диагностики состояния режущего инструмента. – В кн.: Диагностирование оборудования комплексно – автоматизированного производства. М.: Наука, 1984.

3. Подураев В. Н., Кибальченко А. В., Бабак С. П. Амплитудный анализ как средство идентификации источников акустической эмиссии. // Известия вузов. Машиностроение, 1985, № 6.
4. Попов В. И., Локтев В. И. Динамика станков. Изд-во «Техника», 1975.
5. Заковоротный В. Л. Динамика трибосистем. Самоорганизация, эволюция. – Ростов н/Д.: 2003, 502 с.
6. Заковоротный В. Л., Палагнюк Г. Г. Влияние износа режущего инструмента на спектр его вибраций./ В кн. Неразрушающий контроль свойств материалов и изделий в машиностроении. – Ростов н/Д., 1977.
7. Киселев М. И. и др. Измерение периода вращения валопровода турбоагрегата фотоэлектрическим методом. // Измерительная техника, 1996. № 12.
8. Ширяев А. Н. Задача скорейшего обнаружения нарушения стационарного режима. // ДАН СССР, 1961., т. 138, № 5.
9. Никифоров И. В. Последовательное обнаружение изменения свойств временных рядов. – М.: Наука, 1983.

[1)]*Институт машиноведения РАН, Россия, Москва*
[2)]*МГТУ «СТАНКИН», Россия, Москва*