

Таким образом, жесткость фрезерной оправки является решающим фактором, от которого зависит интенсивность вибраций при фрезеровании. Увеличение массы оправки при неизменной ее жесткости, вызывающее увеличение сил инерции и снижение затухания в системе, ведет к увеличению амплитуд вибраций и, в еще большей степени, к увеличению амплитуд колебаний сил резаний.

УДК.621.9.01.014.2

Г.Т.Авдоини

ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУД ВИБРАЦИЙ И БЫСТРОМЕНЯЮЩИХСЯ СИЛ ПРИ ОБРАБОТКЕ РЕЗАНИЕМ

Исследование динамики процессов резания при точении и расточке консольно закрепленных деталей или при дисковом и пазовом фрезеровании представляет значительные трудности в связи с тем, что обрабатываемая деталь или режущий инструмент совершают вращательное движение. Известные контактные методы измерения вибраций в данном случае мало эффективны. Поэтому особого внимания заслуживает создание новых и усовершенствование существующих приборов для измерения с достаточной точностью и надежностью быстроменяющихся сил резания и вибраций при автоколебаниях [2, 3].

Наиболее перспективным является бесконтактный метод, основанный на применении вихретоковых преобразователей.

Принцип действия вихретоковых преобразователей основан на том, что при наличии вблизи проводящей поверхности возбуждающей высокочастотной катушки (датчика) ее параметры изменяются в зависимости не только от электромагнитных свойств металла (удельной проводимости - σ_2 и магнитной проницаемости - μ_2), но и от величины зазора δ - расстояния от датчика до проводящей поверхности, то есть активное сопротивление увеличивается на величину $R_{\delta n}$ - вносимого активного сопротивления, а индуктивность катушки уменьшается на величину $L_{\delta n}$ - вносимой индуктивности. При измерении зазоров и перемещений частота тока, питающего датчик, выбирается такой, чтобы обеспечить минимальное проникновение вихревых токов в проводящую среду, что характеризует-

ся коэффициентом $\lambda = \sqrt{\frac{2}{\omega \mu_2 \epsilon_2}}$, и максимальное отражение энергии на границе раздела, в результате чего уменьшается влияние электромагнитных свойств металла и увеличивается чувствительность датчика к изменениям зазора.

Согласно методике расчета параметров накладной катушки вихревого преобразователя при зазорах, соизмеримых с ее размерами, подробно описанной в [1], имеем следующие зависимости вносимого активного сопротивления и вносимой индуктивности $L_{вн}$ от зазора δ в учетом электромагнитных свойств проводящей поверхности:

$$R_{вн} = \frac{1}{80\pi} \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{2\epsilon_2}} \cdot C;$$

$$L_{вн} = 0,05 \mu_1 D - \frac{1}{80\pi} \sqrt{\frac{\mu_2}{2\omega \epsilon_2}} \cdot D,$$

где ω - угловая частота питания датчика; A - средний радиус катушки; μ_1 - магнитная проницаемость среды, в которой находится датчик; μ_2 - магнитная проницаемость проводящей поверхности; ϵ_2 - удельная электропроводимость проводящей поверхности; C и D - нелинейные функции, зависящие только от величины относительных зазоров $\frac{\delta}{a}$, определяются методом графо-аналитического интегрирования или путем приближенной аппроксимации кривых:

$$C = f\left(\frac{\delta}{a}\right) \quad \text{и} \quad D = g\left(\frac{\delta}{a}\right)$$

с помощью функций типа $C = K_e e^{-P_e \frac{\delta}{a}}$, $D = K_D e^{-P_D \frac{\delta}{a}}$.

Коэффициенты K_e , K_D , P_e и P_D берутся из таблицы, приведенной в [1]. После подстановки получим

$$R_{вн} = \frac{1}{80\pi} \sqrt{\frac{\omega \mu_2}{2\epsilon_2}} K_e e^{-P_e \frac{\delta}{a}}$$

$$L_{вн} = 0,05 \mu_1 K_D e^{-P_D \frac{\delta}{a}} - \frac{1}{80\pi} \sqrt{\frac{\mu_2}{2\omega \epsilon_2}} K_e e^{-P_e \frac{\delta}{a}},$$

На основании последних выражений можно по графикам, приве-

денным в [I], характеризовать изменение относительных вносимых параметров $\frac{R_{вн}}{R_{\infty}}$ и $\frac{L_{вн}}{L_{\infty}}$ в зависимости от отношения $\frac{\delta}{a}$. Участок максимальной чувствительности датчика лежит в пределах $\frac{\delta}{a} = (0 + 0,35)$, следовательно, оптимальный радиус катушек должен быть больше зазора $a \geq 3\delta$; чувствительность по изменению вносимой индуктивности δL в диапазоне частот $0,3 + 10$ мГц почти не зависит от частоты и определяется только величиной зазора при неизменных электромагнитных свойствах металла.

Таким образом, при использовании высокочастотного индуктивного датчика в качестве бесконтактного измерителя зазоров и амплитуд вибрации можно создать схемы, чувствительные только к изменениям зазоров и почти нечувствительные к изменениям электромагнитных свойств металла в диапазоне частот $0,3 + 10$ мГц. Дальнейший анализ графиков [I] показывает, что изменение активного и реактивного сопротивлений катушки, обусловленное малыми изменениями зазоров, составляет несколько процентов от сопротивления катушки, без учета влияния проводящей поверхности. Поэтому в качестве измерительной схемы целесообразно применять неполностью уравновешенную схему сравнения, приведенную на рис. I.

В этой схеме происходит сравнение полного сопротивления датчика Z_d и эталонного сопротивления Z_0 . Питание датчика осуществляется пульсирующим током J с частотой близкой к резонансной частоте датчика.

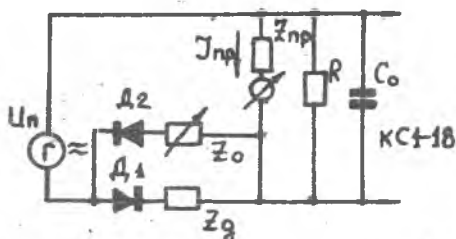


Рис. I. Принципиальная измерительная схема прибора

Измерительный прибор реагирует на разность токов протекающих через Z_d и Z_0 , то-есть ток прибора равен $\bar{J}_{np} = \bar{J}_d - \bar{J}_0$.

При установке определенного постоянного зазора от 0,6 до 1 мм между металлической поверхностью и катушкой датчика регулировкой сопротивления Z_0 добиваются равенства постоянных составляющих токов, проходящих через диоды D_1 и D_2 . Изменение величины зазора вызывает изменение полного вносимого сопротивления датчика.

Для повышения чувствительности измерительной схемы и увеличения тока питания датчика применяется параллельный резонанс; в качестве резонирующей емкости используется емкость датчика и емкость коаксиального подводящего кабеля. Такое включение датчика не только значительно повышает чувствительность (приблизительно в Q^2 раз, где Q - добротность катушки датчика), но и позволяет изменять характер шкалы прибора.

На основании изложенного разработана схема универсального прибора для бесконтактного измерения малых перемещений (измерение быстроменяющихся сил резания при точении, фрезеровании, сверлении и шлифовании) и амплитуд вибраций, блок-схема которого приведена на рис.2, а принципиальная электрическая схема одного из трех каналов на рис. 3.

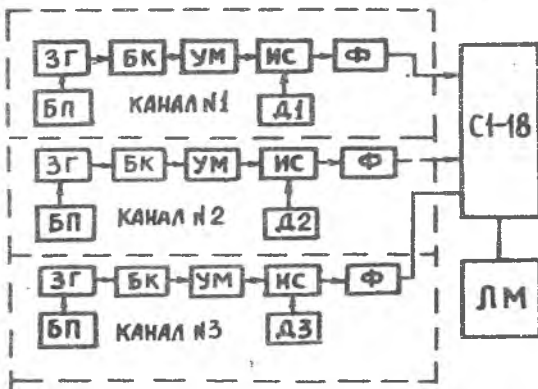


Рис.2. Блок-схема установки. ЗГ-задающий генератор; БК-буферный каскад; УМ-усилитель мощности; ИС-измерительная схема; Ф-фильтр; БП-блок питания; D_1, D_2, D_3 -датчики; ЛМ-ленто-протяжный механизм; СИ-18-электронный двух-канальный осциллограф

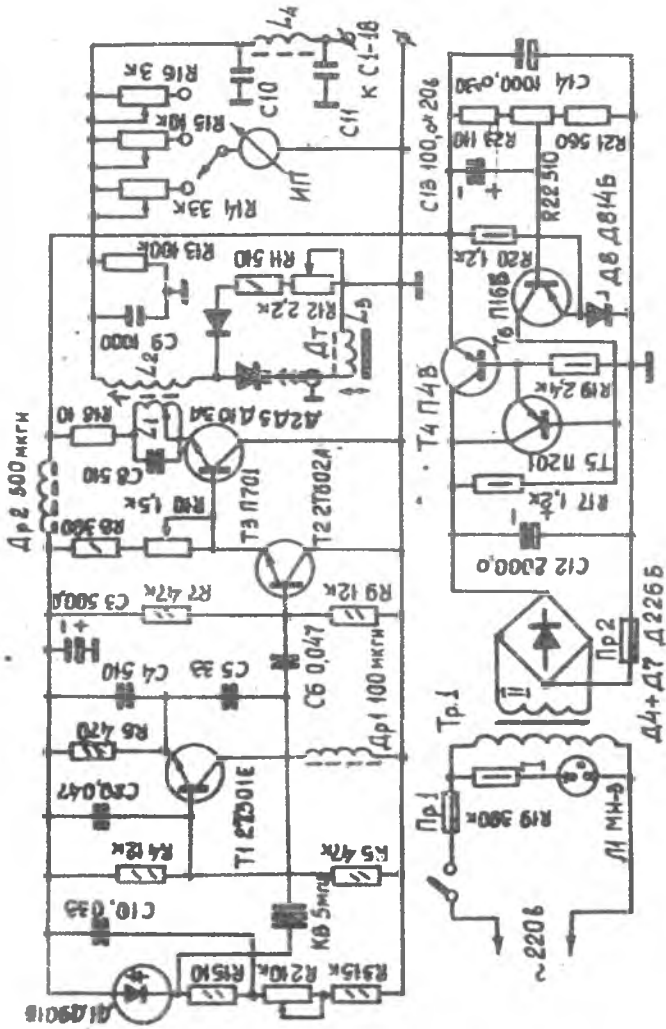


Рис. 3. принципиальная электрическая схема одного из каналов прибора

Прибор имеет три отдельных канала, питающихся от отдельных стабилизированных источников, выполненных на транзисторах. Задающий генератор прибора собран с кварцевой стабилизацией на транзисторе T_1 типа 2Т301Е. Генератор обеспечивает устойчивую генерацию на основной частоте кварца $f = 5$ мГц. Изменение частоты в небольших пределах осуществляется с помощью сопротивления R_2 . Необходимый баланс фаз осуществляется подбором емкости конденсатора C_5 , перестройка частоты — с помощью варикэпа Д914Б. Относительная нестабильность не ниже 10^{-6} при $t = -15^{\circ} + 60^{\circ}\text{C}$.

Буферный каскад выполнен на транзисторе T_2 типа 2Т602А по схеме с общим коллектором. Выходной каскад мощностью около 5 ватт выполнен на транзисторе T_3 типа П701, работает в режиме класса С по схеме с заземленным коллектором. Такая схема позволяет соединить корпус транзистора непосредственно с шасси прибора, не делая специальных радиаторов охлаждения.

В качестве измерительной схемы применена неполностью уравновешенная схема сравнения, описанная выше. Она состоит из диодов D_2 и D_3 типа Д103А, эталонных сопротивлений R_{11} и R_{12} , контура датчика с емкостью коаксиального кабеля, конденсатора C_9 , нагрузочного сопротивления R_{13} и добавочных сопротивлений $R_{14} - R_{16}$, измерительного прибора М265, дросселя фильтра верхних частот и конденсаторов фильтра C_{10} , C_{11} .

Прибор позволяет измерять как статические перемещения, так и динамические (вибрации). На выходе измерительной схемы на сопротивлении R_{13} в результате вибраций появляется переменное напряжение, имеющее основную частоту, равную частоте вибраций.

Прибор позволяет измерять почти с одинаковой чувствительностью статические и динамические перемещения с частотой до 25 кГц. Это следует из того, что рабочая частота питания датчика почти в 200 раз выше максимальной частоты вибраций.

Общий вид прибора с механической частью и датчиками показан на рис. 4.

Для измерения амплитуд вибраций, датчик крепится на специальной стойке, которая устанавливается на неподвижной станине станка с зазором 1 мм от детали. При использовании прибора в качестве измерителя биомеханических или резаных датчики закрепляются в неподвижных частях механической части диалометра по осям P_z , P_y , P_x на расстоянии $0,6 + 1$ мм от подвижных элементов.



Рис. 4. Общий вид прибора с комплектом датчиков

1 - трехканальный измерительный прибор; 2-механическая часть фрезерного динамометра ФД-600 с датчиками; 3-механическая часть токарного динамометра ТД-600 с датчиками; 4-датчик для измерения амплитуд вибраций; 5 - датчик для измерения сил резания; 6 - катушка датчиков; 7 - высокочастотные кабели с разъёмами.

Для градуировки прибора используются прямолинейные и параллельные участки кривых рис.5, характеризующие зависимость напряжения на нагрузочном сопротивлении U_n от зазора δ для различных металлов.

Так как наклон кривых одинаков, то чувствительность прибора к зазорам почти постоянна, а первоначальная балансировка схемы производится по несколько отличным друг от друга зазорам для различных металлов. При измерении амплитуд вибраций и сил резания установка нуля несущественно сказывается на чувствительности прибора, то есть изменение электромагнитных свойств металла, например, из-за температуры, не повлияет на результат измерения.

Необходимо отметить почти линейную зависимость напряжения от величины зазора в диапазоне от 0,6 до 1 мм. Эта линейность позволяет применять прибор с одной равномерной шкалой для разных металлов и широким диапазоном измерения амплитуд вибраций, а также раздельно и независимо друг от друга измерять все составляющие сложного колебания.

Точность статической градуировки прибора проверялась в динамическом режиме с помощью оптических средств, при этом погрешность прибора не превышала 8%.

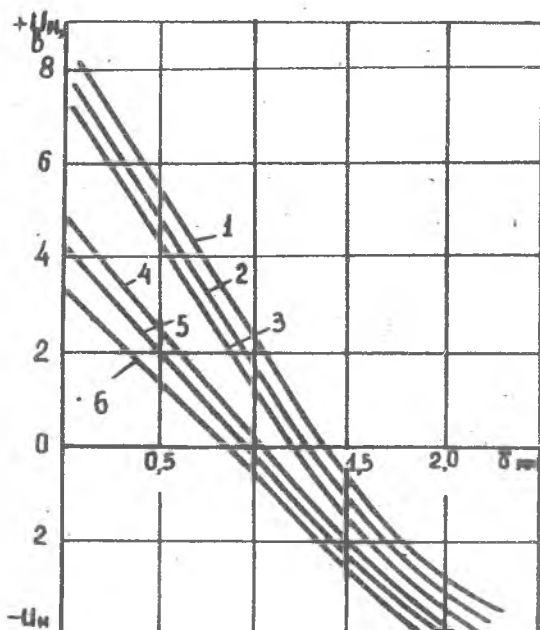


Рис.5. Градуировочные характеристики датчиков

Запись вибросмещений и быстрomenяющихся сил резания производится на равномерно движущуюся пленку с двухканального электронного осциллографа С1-18 при выключенной горизонтальной развертке.

На рис.6 представлены осциллограммы быстрomenяющихся сил резания и амплитуд вибраций, полученные при точении и фрезеровании.

Описание устройства и аппаратура имеют применение для:

1. исследования автоколебаний и быстрomenяющихся сил резания при точении и расточке конусом закрепленным деталям;
2. исследования быстрomenяющихся сил резания при дисковом и пазовом фрезеровании;
3. исследования быстрomenяющихся сил при сверлении глубоких отверстий;

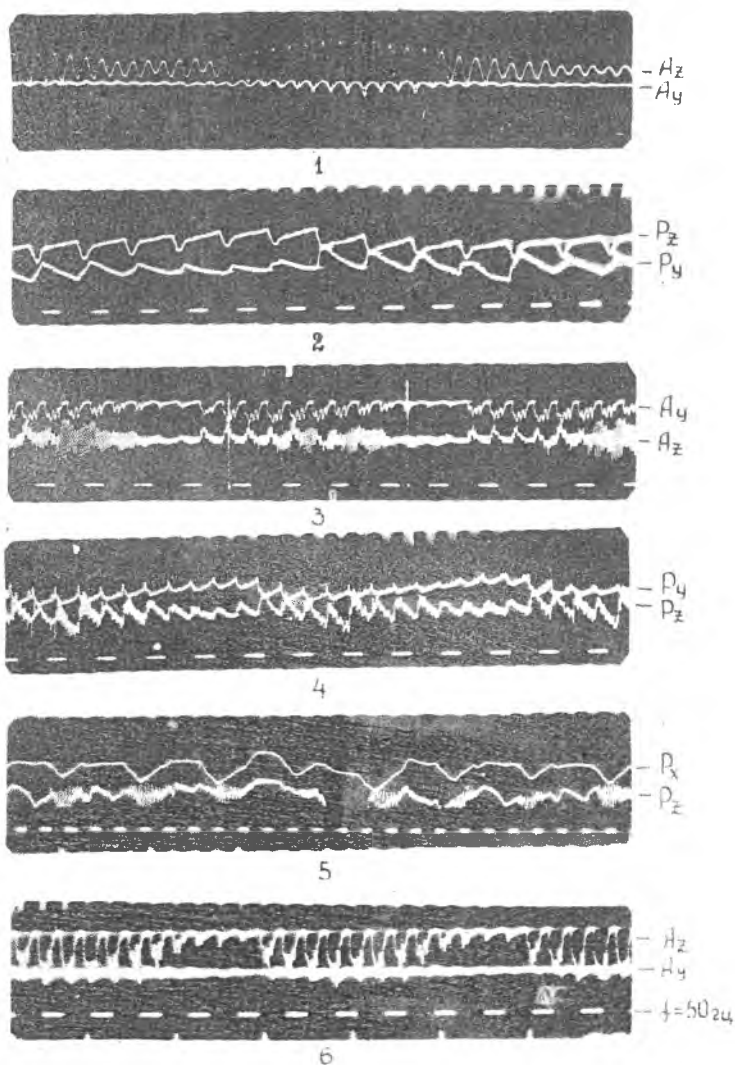


Рис. 6. Осциллограммы, записанные с осциллографа СГ-18.

1-запись амплитуд вибраций при точении конусально закрепленных деталей; 2 - запись сил резания при концевом фрезеровании; 3-запись амплитуд вибраций при пазовом фрезеровании; 4- запись сил резания при дисковом фрезеровании; 5 - запись сил резания при концевом фрезеровании жаропрочной стали; 6 - запись амплитуд вибраций при дисковом фрезеровании.

4. исследования вибраций и быстроменяющихся сил при шлифовании.

Литература

1. Быховский Ю.С. Тековихревые преобразователи для измерения перемещений. Автореферат кандидатской диссертации. Куйбышев, 1963.
2. Иорин Ю.И. "Виброметрия", 1963.
3. Бураго "Аппаратура для измерения параметров вибраций 1967.

УДК 621.951.02:539.371:534.1

Е.В.Бурмистров, Е.М.Маркушин, А.В.Тарасов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ, СОПРОВОЖДАЮЩИХ ПРОЦЕСС СВЕРЛЕНИЯ ОТВЕРСТИЙ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ (РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ) АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПРИ СВЕРЛЕНИИ)

Сверло, представляющее собой естественно закрученный стержень сложной формы и сечения, под воздействием крутящего момента и осевой силы в процессе резания испытывает угловые и продольные деформации. В связи с наличием винтовой спирали эти деформации взаимосвязаны и взаимообусловлены. Так, под действием момента резания сверло испытывает деформацию кручения при этом угол его спирали ω уменьшается, что вызывает удлинение сверла. Под действием осевой силы сверло испытывает деформацию сжатия, что, в свою очередь, приводит к угловым перемещениям сечений сверла, в результате чего угол спирали ω увеличивается.

В процессе сверления момент резания не остается постоянным: его изменения могут быть вызваны неоднородностью обрабатываемого материала, биением сверла, неравномерностью процесса стружкообразования, особенно в момент врезания поперечной кромки и другими факторами. Это обуславливает зарождение крутильных колеба-