

УДК 621.9.08

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛ РЕЗАНИЯ НА ОПЕРАЦИЯХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ

Шуляк Ян Игоревич

Студент 6 курса,

кафедра «Инструментальная техника и технологии»

Московский государственный технический университет им Н.Э.Баумана

Научный руководитель: С.Г. Васильев,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии»

Важной характеристикой процесса резания металлов является сила резания. Силы резания связаны с работой, затрачиваемой на выполнение процесса резания. Работа сил резания определяет необходимую мощность приводов главного движения и движения подачи, выбор которых влияет на стоимость применяемого оборудования, а значит и на стоимость изготавливаемых деталей.

Значительная часть энергии, затрачиваемой на операции лезвийной обработки, переходит в тепловую энергию, которая вызывает нагрев режущей части инструмента, что приводит к увеличению интенсивности изнашивания режущего инструмента, снижению стойкости режущего инструмента.

Силы резания, в результате своего действия на обработанную поверхность могут вызывать изменение кристаллической структуры материала, при этом значительные пластические деформации приводят к возникновению остаточных напряжений в поверхностных слоях обрабатываемого материала, что влияет на показатели качества и эксплуатационные свойства детали, а также на величину выполняемых размеров детали.

Вышесказанное свидетельствует о необходимости проведения более глубоких исследований сил резания на операциях механической обработки. Часто целью подобных исследований является определение факторов, влияющих на силы резания, и выявление взаимосвязей между ними.

Знание функциональных зависимостей изменения сил резания позволяет создавать адаптивные системы управления для станков с ЧПУ, способных регулировать в заданных пределах силу резания за счёт регулировки режимов обработки.

Нагрузка на режущий клин в зоне резания имеет сложный характер. Между передней поверхностью и поверхностью сбегающей стружки, а также

между задней поверхностью и обработанной поверхностью, действуют неравномерно распределённые контактные давления и силы трения.

Определение всех сил и давлений, действующих на режущий клин, является сложной и трудоёмкой задачей, поэтому систему действующих на инструмент сил заменяют вектором одной равнодействующей силой или системой сил, состоящей из вектора силы и крутящего момента. В общем случае точка приложения и направление вектора сил не известны. Для упрощения решения исследовательских задач вектор равнодействующей силы принято разлагать на составляющие вектора. В зависимости от поставленных исследовательских задач, предмета исследований, схем обработки, технических возможностей по измерению и других факторов вид этого разложения может быть различным.

Одним из устройств, позволяющим решить проблему измерения составляющих сил резания является универсальный динамометр, разработанный Мухиным Б.И. Существуют универсальные динамометры Мухина Б.И. следующих моделей УДМ-100, -600, -1200. Регистрирующее оборудование, входящее в комплект динамометра, имеет ряд недостатков: большие габариты, массу, высокое энергопотребление. Тензометрический усилитель 4АНЧ22 требует длительного прогрева перед началом работы и периодической ручной настройки при длительных измерениях. Применение осциллографа позволяет вести наблюдение за изменением регистрирующего сигнала при этом регистрация величины сигнала в единицу времени затруднено, отсутствует возможность автоматизации сбора и обработки данных.

Для устранения приведённых выше недостатков на основе динамометра модели УДМ-600 было разработано устройство измерения составляющих сил резания, блок-схема которого изображена на рис. 1. Устройство состоит из динамометра-датчика модели УДМ-600, платы балансировочных сопротивлений (ПБС), платы 16-канального усилителя ЛА-УН16, устройства сбора данных (УСД) NI USB-6009, персонального компьютера. Плата ЛА-УН16, УСД NI USB-6009, ПБС собраны в отдельном корпусе блока усиления и преобразования сигналов (БУПС).

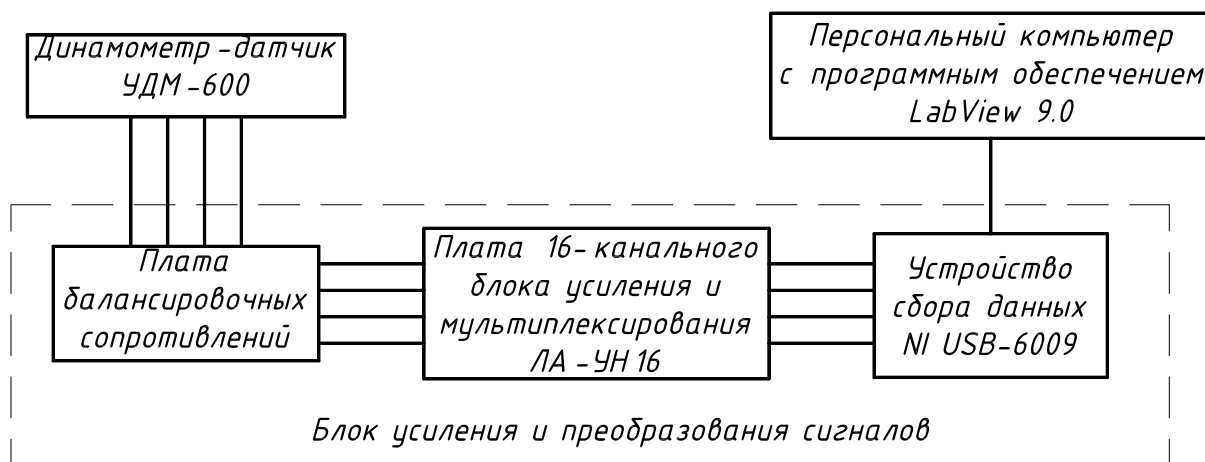


Рис. 1. Блок-схема устройства измерения сил

Динамометр-датчик УДМ-600 способен одновременно воспринимать три составляющие силы резания P_x , P_y и P_z и крутящий момент $M_{кр}$. Обозначение сил измеряемых динамометром совпадают с обозначением составляющих сил резания, изображённых на рисунке 1а. Динамометр измеряет крутящий момент $M_{кр}$, действующий в горизонтальной плоскости.

Работа динамометра основана на регистрации изменений значений сопротивлений тензометрических датчиков, вызванных действием измеряемой силы. Внутри динамометра расположена державка, выполненная в виде квадратной пластины с круглым фланцем для крепления к ней сменных приспособлений. Державка установлена на шестнадцати упруго деформируемых опорах. Конструкция опор такова, что жёсткость опоры вдоль её оси примерно в 100 раз меньше жёсткости в поперечном направлении. К каждой опоре вдоль её оси приклеен проволочный тензорезистор с номинальным сопротивлением 100 Ом. Расположение опор в динамометре и схема соединений тензорезисторов с обозначением номеров контактов на разъёме динамометра показаны на рисунке 2. Такое соединение тензорезисторов позволяет создавать разные измерительные схемы.

В изготовленном устройстве измерения сил используется мостовая схема измерения Уитсона. Тензорезисторы динамометра УДМ-600, соединённые по схемам на рисунке 2, подключаются к плате балансировочных сопротивлений. На ПБС смонтированы постоянные и переменные подстроечные резисторы, которые образуют с тензорезисторами динамометра-датчика мостовые схемы измерения, приведённые на рисунке 3.

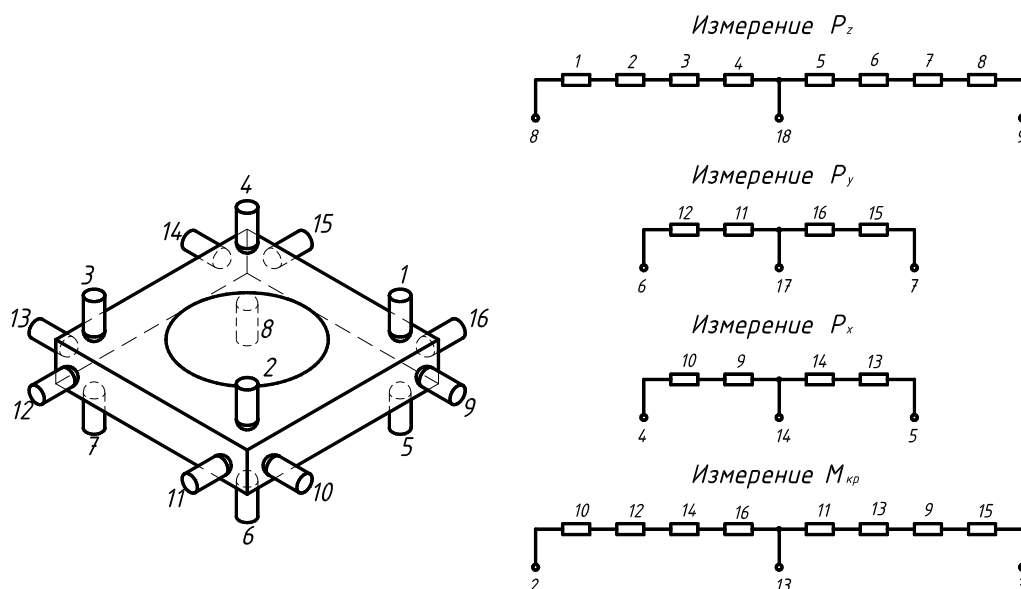


Рис. 2. Расположение опор в динамометре и схемы соединения тензорезисторов

На рисунке 3а приведены мостовые схемы соединения резисторов для измерения составляющей силы резания P_z и крутящего момента $M_{кр}$, на рисунке 3б приведена схема для измерения составляющих сил резания P_x и P_y . Плечи I и III образованы последовательным соединением тензорезисторов

динамометра-датчика, плечи II и IV состоят из балансировочных сопротивлений.

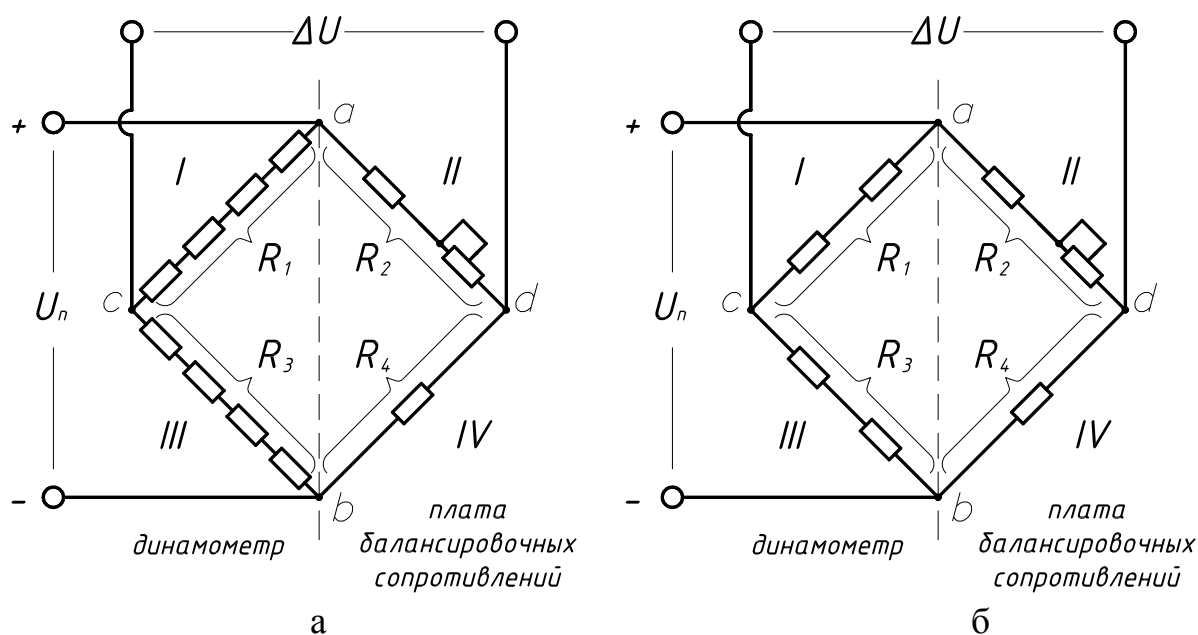


Рис. 3. Мостовые схемы измерения составляющих сил резания

Питание измерительной схемы осуществляется стабилизированным источником постоянного напряжения, встроенным в УСД NI USB-6009. Напряжение питания U_n составляет $\pm 5\text{В}$. Плечо IV включает одно постоянное сопротивление, плечо II состоит из последовательно соединённых резисторов, один из которых постоянный, а другой подстроечный. Общее сопротивление плеч I, II, III и IV обозначим R_1 , R_2 , R_3 и R_4 соответственно.

Значение выходного напряжения ΔU тензометрических мостов, изображённых на рисунке 3, определяется по формуле:

$$\Delta U = U_n \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + R_4} \right), \quad (1)$$

или по формуле:

$$\Delta U = U_n \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right), \quad (2)$$

где U_n – напряжения питания, В; R_i – активное сопротивление соответствующего плеча мостовой схемы, Ом. Данные формулы справедливы при допущениях, что используется источник питания постоянного тока с пренебрежимо малым сопротивлением, а сопротивление нагрузки между точками c и d намного больше полного сопротивления любой ветви моста.

Постоянные и подстроечные резисторы подбираются таким образом, чтобы за счёт регулировки величины сопротивления подстроечных резисторов максимально точно выполнялось условие равновесия моста в ненагруженном состоянии:

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \quad (3) \quad [3]$$

Из формулы (3) следует, что мост уравновешен, если соблюдается условие:

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3} \quad (4)$$

На практике сопротивление плеча II не равно величине R_2 , определяемой по формуле 4, и имеет значение R_2' :

$$R_2' = R_2 + \Delta r = \frac{R_1 \cdot R_4}{R_3} + \Delta r \quad (5)$$

где Δr – погрешность регулирования моста, Ом.

С учётом погрешности регулировки Δr формула (1) примет вид:

$$\Delta U = U_i \left(\frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_4}{R_2 + \Delta r + R_4} \right) \quad (6)$$

Динамометр-датчик сконструирован так, что при действии нагрузки тензорезисторы в одном плече увеличивают, а в другом плече уменьшают своё сопротивление. Если сопротивление тензорезисторов плеча I увеличилось и составляет $R_1 + \Delta R_1$, то сопротивление плеча III уменьшилось и составляет $R_3 - \Delta R_3$. Величины ΔR_1 и ΔR_3 – суммарные изменения сопротивлений I и III плеча соответственно. Таким образом, величина выходного напряжения ΔU_n в нагруженном состоянии примет вид:

$$\Delta U = U_i \left(\frac{R_1 + \Delta R_1}{R_1 + \Delta R_1 + R_3 - \Delta R_3} - \frac{R_4}{R_2 + \Delta r + R_4} \right) \quad (7)$$

В используемом динамометре-датчике УДМ-600 разность между величинами R_1 и R_3 пренебрежимо мала, поэтому можно считать, что $R_1 = R_3 = R$, а $\Delta R_1 = \Delta R_3 = \Delta R$. Поскольку в ненагруженном состоянии мост должен быть уравновешен, то значения сопротивлений плеч II и IV должны быть одинаковыми, то есть $R_2 = R_4 = R_a$. С учётом этих допущений формула (7) принимает вид:

$$\Delta U = U_i \left(\frac{R + \Delta R}{2R} - \frac{R_a}{2R_a + \Delta r} \right) \quad (8)$$

Преобразуем формулу (8) и запишем в следующем виде:

$$\Delta U = U_i \cdot \left(\frac{\Delta R}{2 \cdot R} + \frac{\Delta r}{2(2R_a + \Delta r)} \right) = \Delta U_t + \Delta U_r \quad (9)$$

где ΔU_t – изменение сигнала, вызванное действием составляющей силы резания, ΔU_r – величина начального уровня сигнала, вызванная неточностью балансировки.

Изменение сигнала ΔU_t определяется по формуле:

$$\Delta U_t = U_i \frac{\Delta R}{2 \cdot R} \quad (10)$$

Величина ΔU_r определяется по формуле:

$$\Delta U_r = U_i \frac{\Delta r}{2(2R_a + \Delta r)} \quad (11)$$

Анализ формулы (11) позволяет подбирать величину постоянных и подстроечных сопротивлений для обеспечения плавности регулировки начального уровня сигнала при проведении измерений.

Величина выходных сигналов с тензометрических мостов при действии на динамометр даже значительных нагрузок недостаточна для их регистрации с использованием УСД NI USB-6009. Для усиления сигнала используется 16-канальный усилитель модели ЛА-УН16.

В устройстве измерения сил применяется усовершенствованная модель платы ЛА-УН16. Стандартная модель содержит 16 каналов, каждый из которых способен усиливать сигнал в 1, 10 и 100 раз. Используемая модель способна усиливать сигнал в 1, 10, 100, 400 и 1000 раз. Для усиления сигнала тензометрических мостов используется 4 канала в режиме усиления в 400 раз.

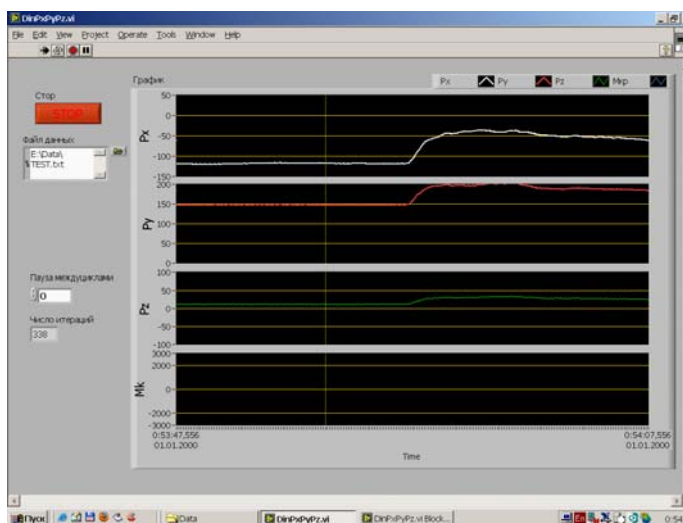
Величина сигнала, получаемая с усилителя, определяется по формуле:

$$\Delta U_k = K \cdot U_i \left(\frac{R + \Delta R}{2R} - \frac{R_a}{2R_a + \Delta r} \right), \text{ В (12)}$$

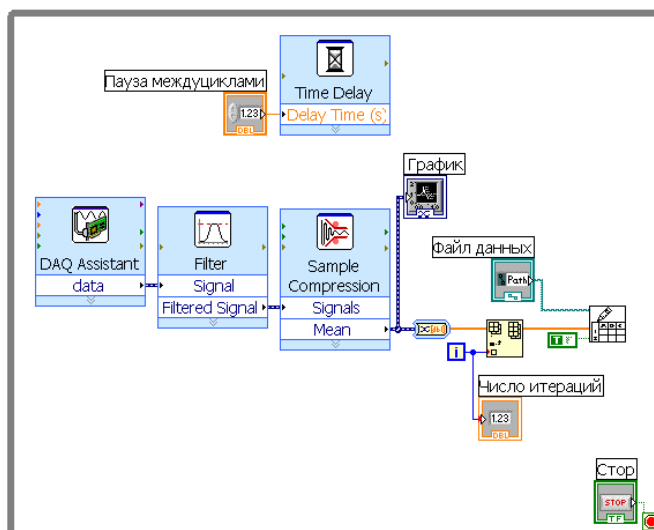
где K – выбранный коэффициент усиления. При проведении опытов, удобно оперировать значениями ΔU , выраженными в милливольтгах, поэтому формулу 12 можно выразить в виде:

$$\Delta U_k = 1000 \cdot K \cdot U_i \left(\frac{R + \Delta R}{2R} - \frac{R_a}{2R_a + \Delta r} \right), \text{ мВ (13)}$$

УСД NI USB-6009 осуществляет регистрацию и преобразование аналогового сигнала в цифровой сигнал, передаваемый на персональный компьютер через интерфейс USB. Цифровая информация обрабатывается с помощью экспериментального виртуального инструмента DinPxPyPz, разработанного в среде графического программирования LabVIEW 9.0. На рисунке 4 изображён интерфейс разработанного виртуального инструмента (рис.4а) и его графический код (рис.4б).



а



б

Рис. 4. Виртуальный инструмент DinPxPyPz и его графический код

Экспериментальный виртуальный инструмент DinPxPyPz способен отображать изменение регистрируемого сигнала в реальном времени, записывать в текстовый файл массив значений напряжения ΔU_k , выраженное в милливольтгах. Данный виртуальный инструмент применяется для настройки начального уровня сигнала и для наблюдения за устойчивостью заданного уровня во времени, а так же для демонстрации работы устройства измерения сил.

Среда графического программирования LabVIEW 9.0 предоставляет широкие возможности по регистрации, записи и анализу сигнала, а также по проведению математического анализа полученных данных. В зависимости от конкретных исследовательских целей формируется виртуальный инструмент, с набором необходимых функций. Важным преимуществом данного программного обеспечения является наличие возможности быстрого и гибкого изменения, корректировки или настройки разработанных виртуальных инструментов непосредственно в процессе работы.

Разработанное устройство измерения сил позволяет проводить измерения составляющих сил резания на операциях точения, фрезерования и сверления. Обеспечена возможность наблюдения изменения величины составляющих сил резания в процессе обработки. Используемое программное обеспечение предоставляет широкие возможности по регистрации, записи и анализу сигналов, поступающих с динамометра-датчика. Применяемое оборудование позволяет совершенствовать устройство измерения составляющих сил резания, путём добавления к нему блоков, расширяющих его функциональные возможности.

Литература

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. И приборостр. Спец. Вузов. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с., ил.
2. Хорна О. Тензометрические мосты (перевод с чешского), М. –Л., Госэнергоиздат, 1962, 336 с. с. черт.
3. Тензометрия в машиностроении: Справочное пособие / Под ред. Р.А.Макарова.– М.: Машиностроение, 1975.– 288 с.