

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Курганский государственный университет

Кафедра «Технология машиностроения,
металлорежущие станки и инструменты»

**ДИНАМИЧЕСКАЯ ТАРИРОВКА
ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОГО ТРАКТА ДЛЯ
ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ**

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплинам: «Основы абразивной обработки»; «Технологические
процессы финишной обработки деталей машин»
образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных
производств
Направленность: Технология машиностроения

Курган
2017

Кафедра: «Технология машиностроения металлорежущих станков и инструментов»

Дисциплины: «Основы абразивной обработки»; «Технологические процессы финишной обработки деталей машин» образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств

Направленность: Технология машиностроения

Составили: д-р техн. наук, проф. В.И. Курдюков,
канд. техн. наук, доц. А.А. Андреев

Утверждены на заседании кафедры « 28 » сентября 2017 г.

Рекомендованы методическим советом университета
« » _____ 201 г.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить устройство измерительного тракта для определения силового взаимодействия абразивного круга и обрабатываемой заготовки. Изучить методы регистрации усилия на рабочем теле. Ознакомиться с программно-аппаратным комплексом регистрации. Произвести динамическую тарировку всего комплекса по двум координатам.

2. ЛАБОРАТОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ОСНАСТКА

1. Универсальный динамометр УДМ-100 с комплектом регистрирующей аппаратуры.
2. Инструментальная линейка, закаленный металлический шарик, измерительные весы.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с правилами техники безопасности при проведении работ.
2. Изучить методику выполнения лабораторной работы.
3. Овладеть техникой и приемами работы с лабораторным оборудованием и измерительной аппаратурой.
4. Провести эксперименты по исследованию зависимости составляющих усилия динамического взаимодействия шарика и универсального динамометра УДМ-100 с комплектом регистрирующей аппаратуры.
5. Составить отчет по работе, где изложить суть работы, ее результаты, проиллюстрированные соответствующими таблицами и графиками. Сформулировать основные выводы.

4 ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1 Сила резания при шлифовании

Сила резания при шлифовании является результатом суммарного силового воздействия со стороны обрабатываемого материала на режущие абразивные зерна, одновременно находящиеся в зоне контакта «шлифовальный круг – заготовка» (зоне резания). Силу резания P , действующую на отдельное режущее зерно принято раскладывать на три взаимно-перпендикулярные составляющие: тангенциальную P_z ; радиальную P_y и осевую P_x (рисунок 1)

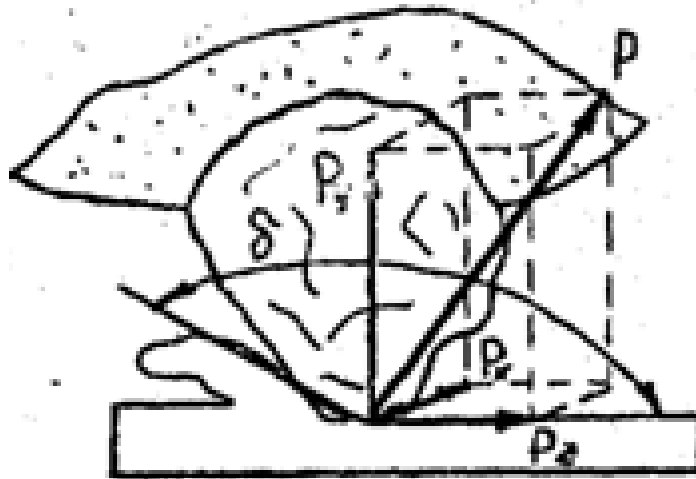


Рисунок 1 – Сила резания P при шлифовании и ее составляющие

При этом необходимо учитывать, что абразивное зерно врезается в тело заготовки со скоростью V_p . величина которой находится, в зависимости от условий шлифования, в пределах $20 \div 110$ м/сек. Длина же L зоны контакта (дуги контакта) круга с заготовкой обычно не превышает 3-4мм. Следовательно зерно, воздействует на заготовку кратковременным импульсом силы. Длительность τ этого импульса можно определить по формуле:

$$\tau = L / V_p, \quad (1)$$

Величину L , например в случае плоского шлифования периферией круга диаметром D , можно рассчитать по приближенной формуле: $L = \sqrt{D \cdot t}$, где t – глубина шлифования.

Если подставить в формулу (1) значения для конкретных условий шлифования: $D = 250 \times 10^{-3}$ м; $t = 0,02 \times 10^{-3}$ м; $V_p = 35$ м/с, то получим значение длительности импульса $\tau = 0,06 \times 10^{-3}$ сек.

Тогда частота f , с которой импульсы силы от отдельного зерна действуют на обрабатываемую заготовку, будет равна:

$$f = 1 / \tau = 15,6 \text{ кГц} \quad (2)$$

Так как, исходя из схемы резания шлифовальным кругом, все режущие зерна, расположенные на его рабочей поверхности, осуществляют срез (отделение) стружек последовательно, проходя зону контакта друг за другом, то частота F импульсов (скважность) сил, воспринимаемых заготовкой будет равна расстоянию l_3 между этими зернами, деленному на длину дуги контакта, т.е.:

$$F = l_3 / L$$

Если предположить, что расстояние l_3 между зернами будет раз в 10-15

больше, чем L т.е. порядка $L_3=20-25 \times 10^{-3}$ м. для приведенных условий шлифования, будем иметь частоту появления зерен в зоне резания $f_3=1-1,5$ кГц. Следовательно, на поверхность будут воздействовать абразивные зерна с частотой 1-1,5 кГц и скважностью 10-15кГц.

Таким образом, механизм удаления припуска с заготовки шлифованием представляет собой динамичный и скоротечный процесс, изучение которого требует применения специальных устройств, как для регистрации (записи), так и обработки физико-механических воздействий между заготовкой и инструментом.

4.2 Описание измерительного тракта для регистрации силы резания

Устройства предназначенные для регистрации и измерения сил называются динамометрами. Существует большое количество различных конструкций динамометров, различающихся как по допустимой величине регистрируемых усилий, так и по их частоте. Основой измерения сил заключается в фиксации величин упругих деформаций опорных элементов различных конструкций, воспринимающих силовое воздействие, с помощью специальных устройств, называемых датчиками. Такой принцип измерения деформаций называют тензометрированием. По типу датчиков, используемых в конструкциях динамометров, различают механические, гидравлические, электрические динамометры. Наиболее совершенными считаются электрические динамометры. Они более компактны, точны и способны регистрировать усилия достаточно широкого диапазона как по величине, так и по частоте. Электрические динамометры состоят из трех основных частей: датчиков, воспринимающих нагрузку; коммутационных связей между датчиками; приемников, регистрирующих и преобразующих электрические сигналы формируемые датчиками. К одному из электрических типов приборов измерения деформаций относятся тензорезисторы (Т). Принцип измерения основан на том, что, закреплённый на деформируемой поверхности Т воспринимает ее деформацию, изменяя при этом своё электрическое сопротивление согласно физическому закону о удельном сопротивлении:

$$R = \rho_0 \frac{l_0}{S_0} \quad (4)$$

где: R – сопротивление тензорезистора, Ом;

ρ_0 – удельное сопротивление материала, из которого изготовлен тензорезистор, Ом×м;

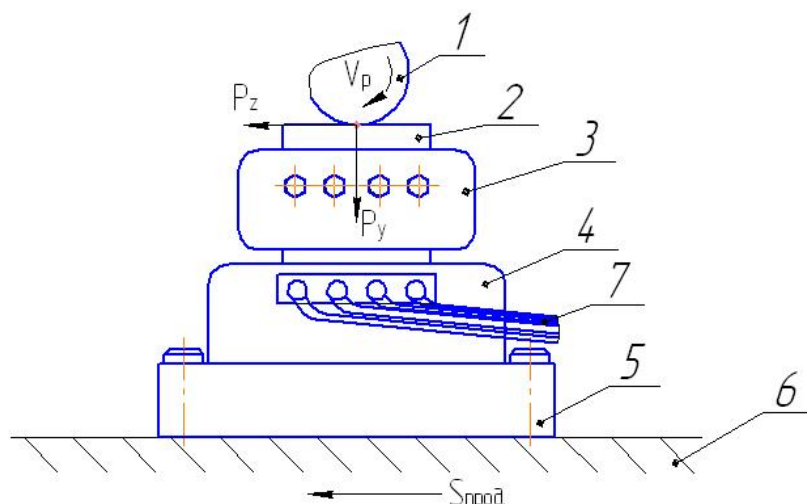
l_0 и S_0 – длина и площадь сечения проволоки, из которой изготовлено тензосопротивление, соответственно в м и м².

Это сопротивление изменяется, согласно формуле 4 как в сторону увеличения при растягивающих нагрузках, так и в сторону уменьшения при сжимающих пропорционально усилию, действующему на опору. Такая реакция

датчиков дает возможность создавать разные измерительные схемы с целью изменения чувствительности динамометра.

Принцип работы датчиков и возможные схемы их включения можно широко и подробно описаны в научно-технической литературе.

В нашем случае, для регистрации усилий при шлифовании используется универсальный динамометр Мухина (УДМ-100), позволяющий измерять три составляющих силы резания независимо от места ее приложения к закрепленной в нем заготовки и крутящего момента $M_{кр}$. Максимально допустимая величина нагрузки составляет 1000 Н (рисунке 2).



1- абразивный круг; 2 - шлифуемый образец; 3- подвижная платформа воспринимающая нагрузку P_z, P_y ; 4 - корпус станции с вмонтированными в неё рабочими телами и тензодатчиками; 5- пластина крепления тензостанции; 6 - подвижный стол шлифовального станка; 7- шлейфы подводки питания датчиков и снятия сигнала с мостов пропорционального силам резания P_z, P_y .

Рисунок 2 Универсальный динамометр Мухина:

Принцип работы динамометра.

Работа динамометра основана на регистрации изменений значений сопротивлений тензометрических датчиков, вызванных действием измеряемой силы. В корпусе динамометра расположена державка, выполненная в виде квадратной пластины с круглым фланцем для крепления к ней сменных приспособлений для установки и зажима заготовок. 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 200 Ом. Расположение опор в динамометре и схема соединений тензорезисторов с обозначением номеров контактов на разъёме динамометра показаны на рисунке 3.

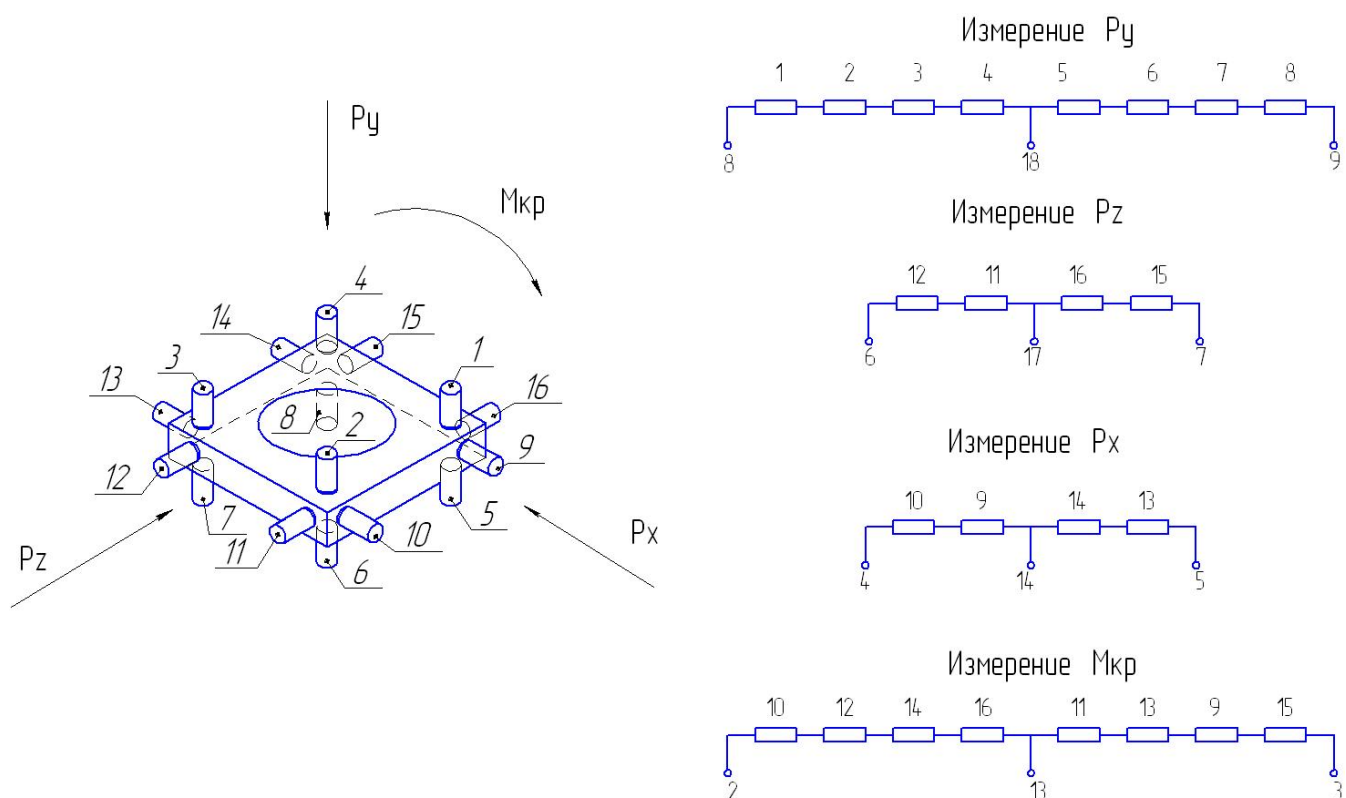


Рисунок 3 – Схемы расположения опор и соединений тензорезисторов в динамометре УДМ-100

Тензорезисторы динамометра УДМ-100, соединены на рисунке 3 в два плеча по так называемой схеме Уитсона (рисунок 3). Например, для регистрации вертикальной составляющей силы резания P_z , согласно рисунков 1 и 2, опоры 1,2,3,4 при приложении силы будут, допустим, сжиматься, а опоры 5,6,7,8 - растягиваться. Следовательно и сопротивления соответствующих резисторов будут меняться в разных направлениях. Поэтому, если последовательно соединить датчики 1,2,3,4 то эффект изменения сопротивления усилится в сторону уменьшения R , а при последовательном соединении датчиков 5,6,7,8 - в сторону его увеличения. По такому же принципу получены и другие соединения, представленные на рисунке 3, для горизонтальных сил P_x , P_y , $M_{кр}$. В результате, все датчики соединены между собой в полумосты, как показано на рис. 3, которые имеет три точки выхода для присоединения к внешнему источнику. Центральный вывод подсоединяется к источнику питания, а боковые к переменным подстроечным резисторам. Эта схема подключения приведена на рисунке 4.

На резисторный мост подается напряжение питания. В нашем случае мост запитывается напряжением $U_{п} = +5В$ от USB разъема батареи компьютера. С помощью переменных резисторов «выставляется» на выходе схемы напряжение равное «0». Для этого надо сбалансировать мост с высокой

точностью, добиваясь следующего условия:

$$R1 \times R4 = R3 \times R2 \quad (5)$$

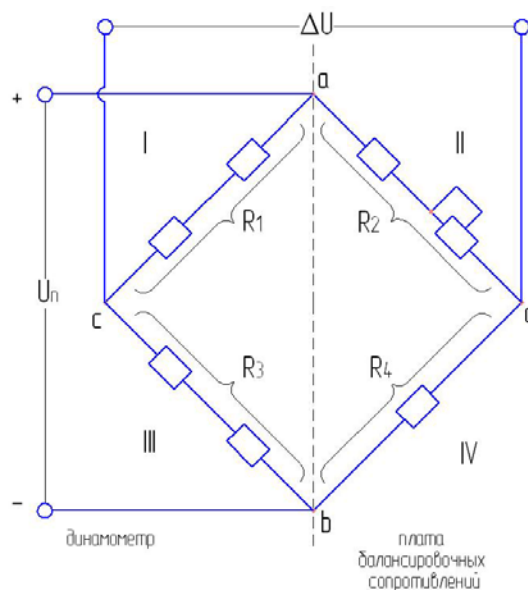
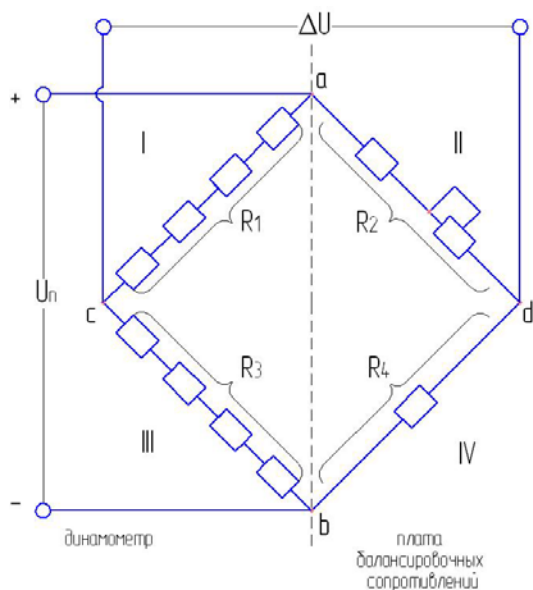


Рисунок 4 – Мостовые схемы измерения составляющих сил резания P_z , P_y .

Плечо IV включает одно постоянное сопротивление, а плечо II состоит из последовательно соединённых резисторов, один из которых постоянный, а другой подстроечный. Общее сопротивление плеч I, II, III и IV обозначим **R1**, **R2**, **R3** и **R4** соответственно. Значение выходного напряжения ΔU тензометрических мостов, изображённых на рисунке 4, определяется по формуле:

$$\Delta U = U_n \left(\frac{R3}{(R1 + R3)} + \frac{R4}{(R2 + R4)} \right) \quad (6)$$

После того как на динамометр начинают действовать какие - либо нагрузки мост выходит из равновесия и на выходе формируется импульс напряжения. Это напряжение необходимо усилить, записать и оцифровать, для того, чтобы в дальнейшем определить: уровень этого сигнала, частоту, последовательность и т.д. Для реализации такой задачи спроектирована и собрана установка с комплектом регистрирующей аппаратуры. Блок-схема устройства показана на рисунке 5.

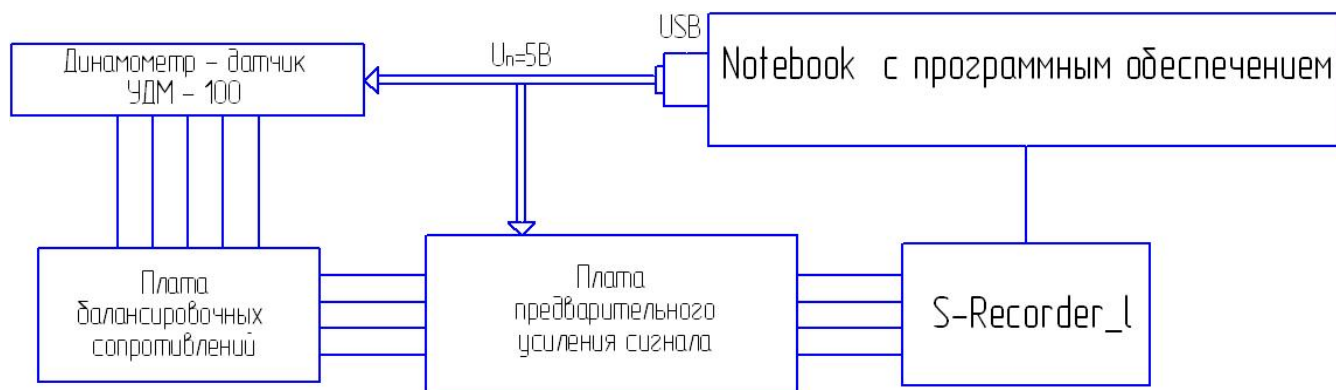


Рисунок 5 – Блок- схема измерительного тракта усиления шлифования.

Помимо описанного выше универсального динамометра УДМ 100 в комплект вошли: плата балансировочных сопротивлений, плата предварительного усиления сигнала ΔU на основе каскада последовательно соединенных операционных усилителей, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), компьютер типа Notebook. В качестве АЦП выбран 12 разрядный, с частотой опроса в одноканальном режиме 100кГц, многоканальный самописец типа «S-Recorder-L» с соответствующим программным обеспечением. Выбор такого АЦП обусловлен необходимостью сканировать процесс абразивной обработки с частотой до 100кГц, который протекает, как было показано выше по формулам 2,3, с частотой от 1,5-2 до 10-15 кГц, а 12 разрядное оцифровывание сигнала дает достаточно низкую погрешность:

$$\Delta = 100 \times \frac{1}{2^{12}} = 0,025\% \quad (7)$$

Такие показатели позволяют, с одной стороны, уверенно зафиксировать весь процесс обработки, а с другой – очень точно его распознать и поместить в цифровую среду для дальнейшей математической обработки.

Следует отметить, что электропитание моста тензорезисторов, усилителя сигнала и АЦП «S-Recorder-L» организовано от батареи Notebook, поэтому проблем с развязкой сигнала и его помехозащищенности не возникает. С методикой программной обработки на компьютере можно ознакомиться либо в отдельном руководстве пользователя, либо в справке о самой программе. Необходимо лишь отметить, что протокол работы с устройством позволяет сканировать и записывать весь процесс в двоичном коде в файл типа ALF, где он может храниться сколько угодно долго. Расчет и обработка данных производится в среде Excel в формате файлов типа CSV, в который преобразуются ранее оцифрованные параметры в среде ALF. Преобразование происходит по программе согласно выделенного временного интервала. Это дает возможность выделить интересующий фрагмент записи и обработать с помощью разнообразных математических, статистических других функций программной среды Excel. В случае необходимости, данные можно добавить или наоборот убрать и конвертировать из другой части записи. Таким образом вопрос о записи, обработки, конвертации данных решен.

На этом этапе имеем следующее. Сила резания передается на подвижную

плиту динамометра. Плита давит на упругие опоры. Опоры с определенной жесткостью поддаются деформации, которая передается на тензорезисторы, изменяющие свое сопротивление и через мост Уитсона усиленное напряжение уже попадает в программную среду в виде прироста ΔU . Для определения же сил резания в общепринятых единицах, необходим перевод измеренного напряжения в вольты в одну из систем измерения силы, например в Ньютон (система СИ) через коэффициент пересчета, определить который и является следующей задачей данной лабораторной работы.

Это можно сделать теоретически, подставив в одну формулу, последовательно учитывая все физические изменения, происходящие и измерительном тракте для силы действующей на прибор: жесткости пластины, деформации, и как следствие, сопротивления датчиков, а так же записав уравнение изменения напряжения для электрического моста с учетом коэффициент усиления. Очевидно, что вся эта формула будет крайне громоздка и неудобна а, после существенных упрощений, которые неизбежны ещё и неточна. В таких случаях обычно используют другой метод получения пересчетных коэффициентов - метод тарировки.

4.3 Методика проведения тарировки тракта для измерения силы резания.

Метод получения пересчетных коэффициентов для измеряемых величин с помощью каких либо косвенных датчиков в общепринятые единицы называют тарированием. Суть этого метода заключается в следующем.

До начала измерения всю систему подвергают испытанию во всем предполагаемом диапазоне исследования физической величины, с известными входными данными. При каждом натурном испытании задают входные данные и фиксируют их, а на выходе системы получают отклик т.е. выходные параметры. Далее проводят статистическую обработку, данных и получают зависимость выходных показателей от входных либо в виде формулы удобной для пересчета, либо в виде тарировочных графиков.

Так как силу резания при плоском многопроходном шлифовании обычно представляют только двумя составляющими P_z и P_y (рисунок 2) ввиду незначимости третьей - P_x . Поэтому нам необходимо определить два коэффициента K_z , K_y исходя из следующих формул:

$$P_z = K_z \times \Delta U_z \quad (8),$$

$$P_y = K_y \times \Delta U_y \quad (9),$$

где P_z, P_y – силы резания при шлифовании, [Н],

K_z, K_y – коэффициенты пропорциональности, [Н/В]

$\Delta U_z, \Delta U_y$ – измеренные, оцифрованные напряжения и преобразованные в среду Excel в вольтах.

Решение задачи сводится к следующему.

Сначала нагружаем весь измерительный тракт известным усилием по направлениям составляющих силы резания, т.е. в вертикальной и

горизонтальной плоскости и фиксируем через АЦП с помощью программы на Notebook вызванные им показания изменения напряжения по каждой координате.

Обычно нагружение осуществляют с помощью ряда приспособлений и эталонного динамометра, например системы Н.Г.Токаря, силовая характеристика которого заранее известна из его паспорта. Тарируемый динамометр устанавливается в приспособление, конструкция которого позволяет его через эталонный динамометр посредством винта, вмонтированного в это же приспособление. По эталонному динамометру фиксируется необходимое по плану эксперимента усилие нагружения и соответствующий отклик на Notebook. Имея попарно входное усилие и зафиксированный отклик в нескольких точках плана, можно построить график $P=f(\Delta U)$, обработав, предварительно, полученные данные с помощью метода наименьших квадратов и получить графически коэффициент пропорциональности.

Однако, в нашем случае, такой обычный способ тарировки имеет существенный недостаток. Нагрузка на тензостанцию прикладывается статическая, а в реальном процессе, как показано выше, она динамическая и высокочастотная. Поэтому и тарировать измерительный тракт нужно нагрузкой аналогичного характера. Наиболее приемлемым в данном случае приложение ударной нагрузки, например шариком известной массы падающим на тарируемый динамометр с определенной высоты. В этом случае суть эксперимента будет следующая: на тензостанцию с установленным на него стальным образцом и измерительным трактом с определенной высоты h падает металлический закаленный шарик массой m (рисунок 6).

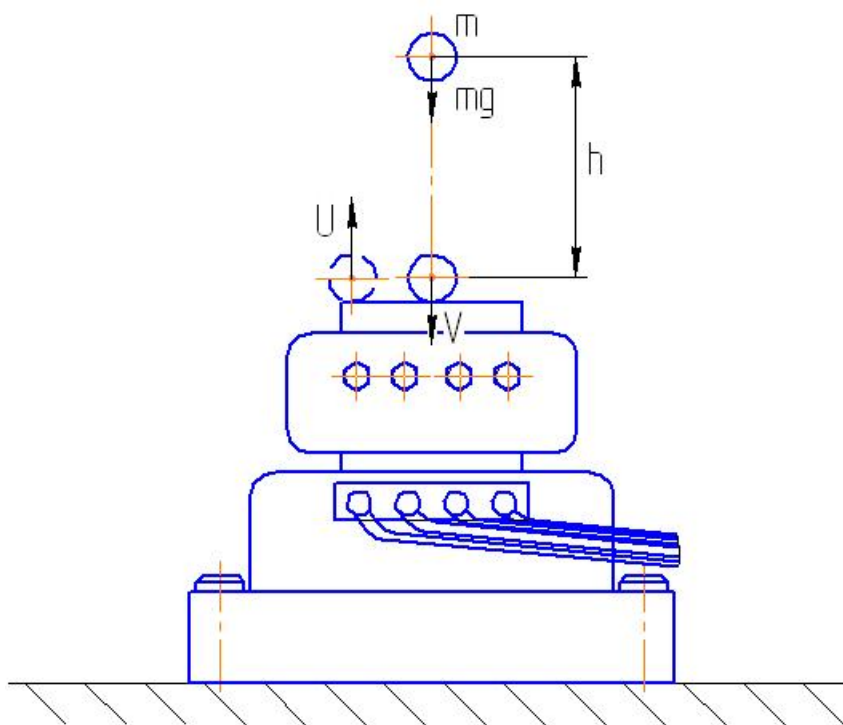


Рисунок 6 – Схема испытания тензостанции при ее тарировке по оси Y.

На схеме указано испытание для силы P_Y . Шарик, падая вертикально с высоты h на стальную поверхность образца, развивает скорость равную:

$$V=V_0+\sqrt{2hg} \quad (10),$$

где: V – скорость шарика при соприкосновении его с образцом, в м/сек;

V_0 – начальная скорость шарика (в нашем случае, $V_0=0$ м/сек - шарик отпускается свободно без начальной скорости);

h – расстояние от центра шарика до поверхности образца, в м;
 $g=9,81$ м/(сек)² – ускорение свободного падения.

При падении с определенной высоты шарик запасает кинетическую энергию, которую расходует при соприкосновении с образцом на пластическое и упругое деформирование образца. В результате пластического деформирования образца на его поверхности остаются вмятины, а упругое взаимодействие приводит к отскоку шарика от поверхности со скоростью равной U в м/сек. Согласно закону сохранения энергии импульса можно записать:

$$F \times t = 2m \times U, \quad (11)$$

где: F – сила с которой шарик действует на поверхность образца, Н;

t – время, в течении которого шарик контактирует с образцом, сек;

m – масса шарика, кг

U – начальная скорость отскока шарика от поверхности, м/сек.

В формуле 11 необходимо найти начальную скорость отскока шарика и время взаимодействия его с поверхностью. Начнем со скорости U . Смоделируем ситуацию. Если шарик падает на поверхность и отскакивает от нее без пластической деформации, то очевидно скорость его отскока будет равна $U=(-V)$ - скорости с которой шарик входил в контакт с образцом. Если же при соударении вся энергия шарика превратилась в пластическую деформацию, то $U=0$ (шарик вообще не отскакивает). В нашем случае, мы имеем промежуточный вариант -частично неупругого удара, когда:

$$U = -\varepsilon \times V, \quad (12)$$

где ε – коэффициент восстановления относительной скорости при ударе.

Величина $0 \leq \varepsilon \leq 1$ и зависит от тел, которые взаимодействуют между собой и для стальных тел (как у нас) $\varepsilon=0,56$. Следовательно, с учетом последнего замечания и формул 10, 11, 12 и незначительных расчетов, можно записать:

$$F_Y = 4,96 \times \frac{\sqrt{h}}{t} \times m \quad (13)$$

В формуле 13 масса шарика известна, высота с которой он падает тоже. Осталось определить время t , в течении которого взаимодействуют шарик и образец. Такую информацию можно получить после проведения эксперимента на диаграмме изменения напряжения ΔU_y , как функции изменения во

времени:

$$\Delta U_z = f(t) \quad (14)$$

Пример такой диаграммы представлен на рисунке 7 при частоте сканирования в тракте 30кГц.

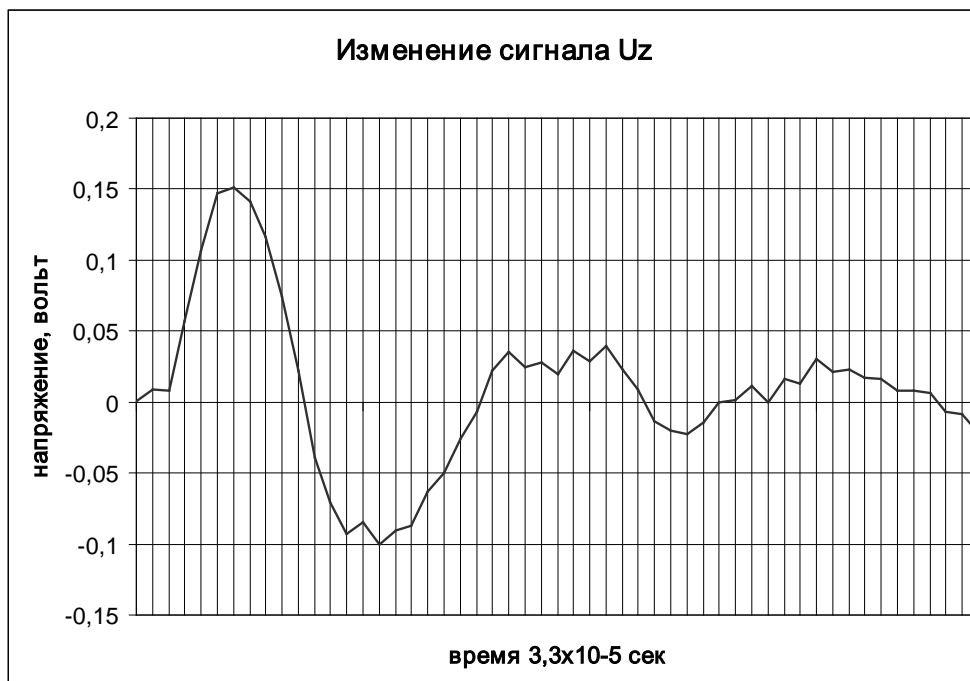


Рисунок 7 – Примерная диаграмма оцифрованного сигнала

На этой диаграмме видно, что $\Delta U_z = 0,15\text{В}$, а $t = 9 \times 3,3 \times 10^{-5}$ сек.

5. ЗАДАНИЕ НА ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Экспериментально получить выражения по зависимостям 8,9 для составляющих P_z и P_y силы резания. Для этого: ознакомиться с установкой и программным обеспечением для АЦП; получить инструментальную линейку, шарик и определить его массу; заполнить таблицу 1 плана эксперимента; записать формулу определения составляющих резания исходя из соотношения 13.

2. По данным столбцов 2,3,5 определить силу в ньютонах и записать в столбец 6.

3. В столбце 4 отметить с диаграммы величину силы, которую фиксирует программа на Notebook.

4. По результатам столбцов 4 и 6, с помощью соответствующей функции среды Excel, определить коэффициенты измерительного тракта K_z, K_y , которые будут использоваться в следующих лабораторных работах.

Расчет коэффициентов K_z, K_y , можно произвести по следующей формуле, исходя из метода наименьших квадратов:

$$K_z = \frac{\sum_{I=1}^3 P_{ZI} \times \Delta U_{ZI}}{\sum_{I=1}^3 \Delta U_{ZI}^2} \quad (15)$$

Аналогично и для **K_y**.

5. Написать отчет по работе и защитить его у преподавателя.

Таблица 1– Отчет по работе

Данные до эксперимента			Данные после эксперимента		Расчитанные показатели	
Составляющая силы P	масса шарика, m кг.	высота h, м	Сила ΔU, В	t, сек	Сила P, Н	Коэф. Пропорциональности K _z , K _y
1	2	3	4	5	6	7
P _z						
P _z						
P _z						
P _y						
P _y						
P _y						

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие силы действуют при плоском многопроходном шлифовании ?
2. Что такое тензорезистор и почему меняется его сопротивление?
3. Что такое тарировка и для чего она нужна?
4. В чем суть методики экспериментального получения тарировочных зависимостей?

СОДЕРЖАНИЕ

1	Цель работы	3
2	Лабораторное оборудование и оснастка	3
3	Порядок выполнения работы	3
4	Ход выполнения работы	3
4.1	Сила резания при шлифовании	3
4.2	Описание измерительного тракта для регистрации силы резания	5
4.3	Методика проведения тарировки всего тракта для измерения силы резания	10
5	Задание на выполнение работы	13
6	Контрольные вопросы.....	14

Д-р техн. наук, проф. В.И. Курдюков,
канд. техн. наук, доц. А.А. Андреев

ДИНАМИЧЕСКАЯ ТАРИРОВКА ДИНАМОМЕТРИЧЕСКОГО ТРАКТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы
по дисциплинам: «Основы абразивной обработки»; «Технологические
процессы финишной обработки деталей машин»
образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата
15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств
Направленность: Технология машиностроения

Авторская редакция

Подписано к печати 27.11.17

Формат

Бумага тип

Печать цифровая

Усл. печ. л. 1,0

Уч. изл. л.

Заказ №200

Тираж 20

Не для продажи

РИЦ Курганского государственного университета

640020, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет