

Комплекс для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении¹

09, сентябрь 2014

Виноградов Д. В., Древаль А. Е., Васильев С. Г.

УДК: 624.941, 621.9-05

Россия, МГТУ им. Баумана

vdv2010@bk.ru

На современных предприятиях машиностроения широко используют новые конструкционные материалы, обрабатываемость которых отличается от обрабатываемости традиционных материалов. Одновременно внедряются новые марки инструментальных материалов и инструментальные материалы с износостойкими покрытиями различных видов. Это определяет необходимость проведения предварительных экспериментальных оценочных работ по поиску рациональных технических и технологических решений.

Для решения таких задач на базе токарного оборудования спроектирован и изготовлен контрольно-измерительный комплекс, предназначенный для:

- ускоренных предварительных сравнительных испытаний инструментальных материалов (в том числе с поверхностными покрытиями и упрочнениями) на износостойкость с целью установления рациональной марки для обработки резанием [1, 2];
- определения и сравнения смазочно-охлаждающих свойств различных марок СОТС как при резании конструкционных материалов, так и при моделировании процесса резания трением индентора [3, 4];
- оперативного измерения сил резания на токарном оборудовании с целью сравнительной оценки режущих свойств инструментов различных конструкций, обрабатываемости конструкционных материалов, мощности процесса резания и влияния сил на технологические показатели обработки, стойкость токарных инструментов и других исследований [5, 6]

Составные части комплекса отличаются относительной простотой конструкции, которые могут быть изготовлены на машиностроительном предприятии. В состав комплекса входят динамометрическое и нагрузочное устройство, а также комплекс электронной аппаратуры и программное обеспечение.

¹ Комплекс разработан в рамках выполнения работ по теме «Разработка РКД на высокопроизводительные и высокотехнологические СТО на базе специальной оснастки в части механообрабатывающих производств». Шифр «Механизм».

Принципиальная схема комплекса показана на рис. 1, его общий вид – на рис. 2.

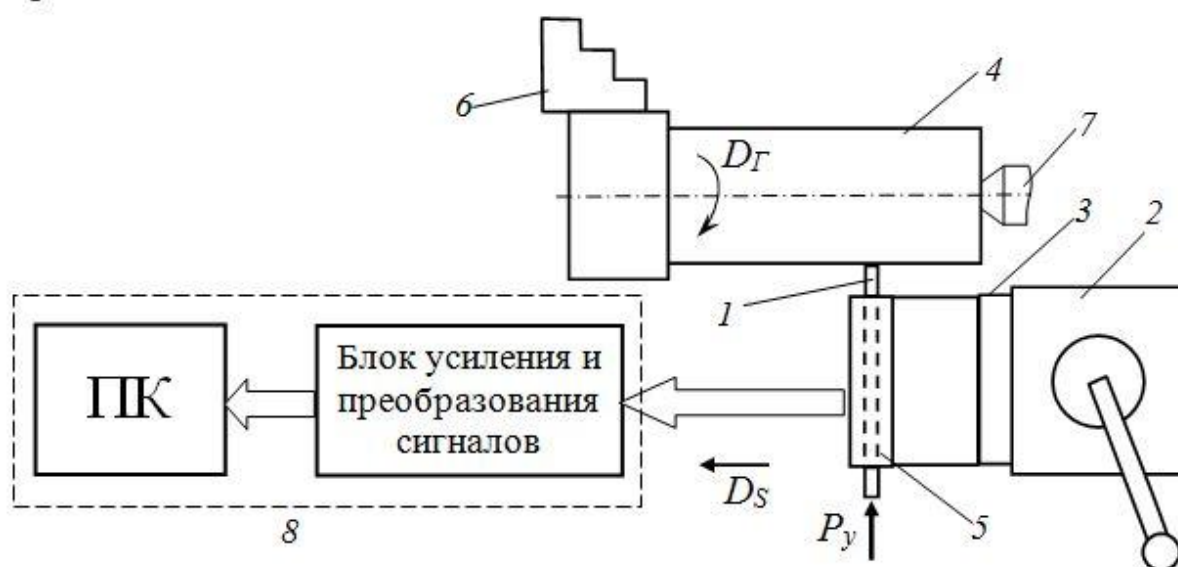


Рис. 1. Схема комплекса для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении:

1 – индентор; 2 – резцедержатель станка; 3 – динамометрическое устройство; 4 – контртело; 5 – нагрузочное устройство; 6 – патрон токарного станка; 7 – центр; 8 – электронный блок

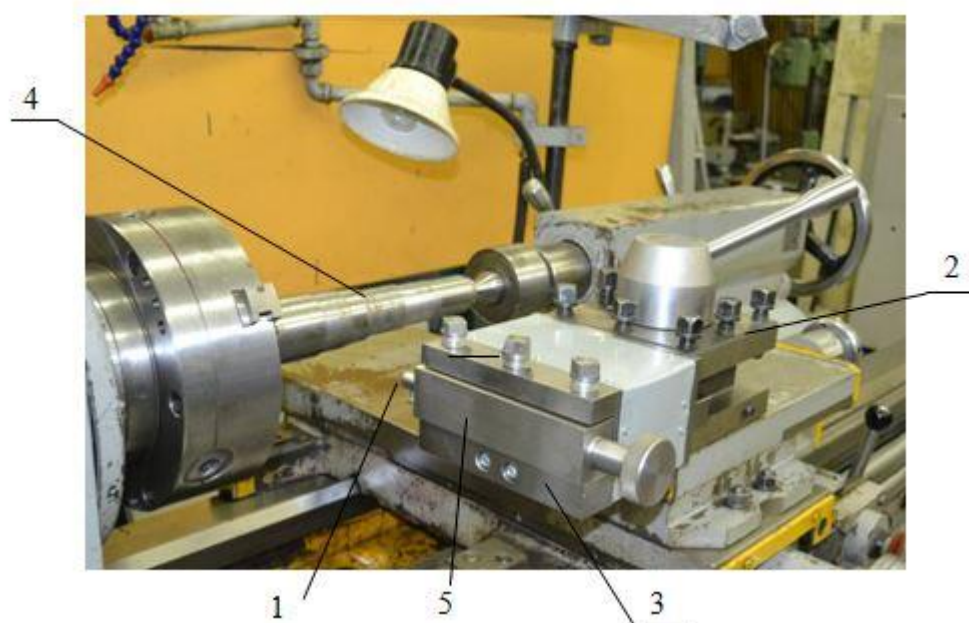


Рис. 2. Общий вид комплекса

1 – индентор; 2 – резцедержатель; 3 – динамометрическое устройство;
4 – контртело; 5 – нагрузочное устройство

Динамометрическое устройство

Динамометрическое устройство 3 (рис. 2) позволяет измерять составляющие силы резания в инструментальной системе координат (рис. 3) – P_x , P_y (силу прижима индентора к контртелу – нормальную силу N) и P_z (силу трения индентора о контртело $F_{тр}$) и автоматически передавать полученные данные в компьютер для обработки.

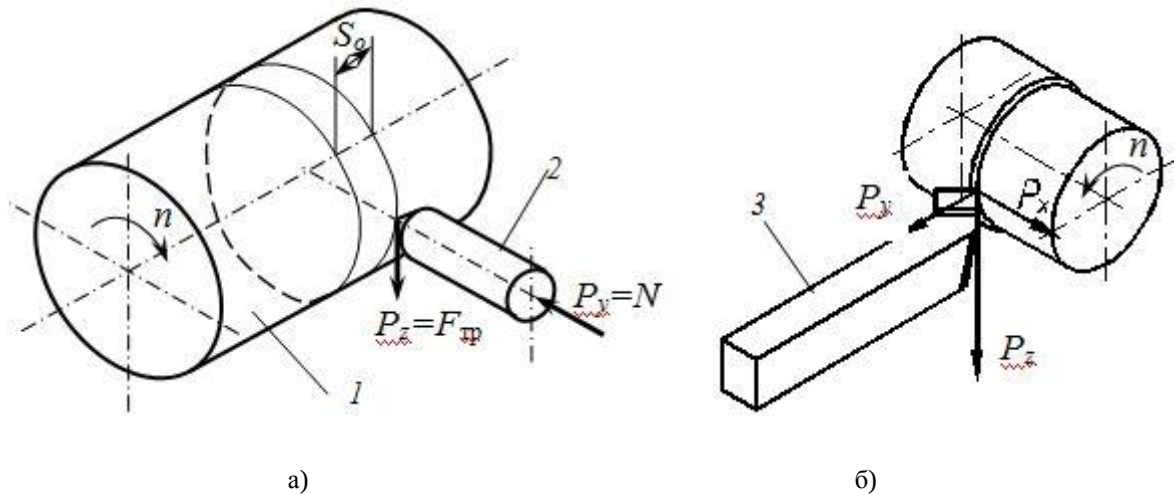


Рис. 3. Силы, измеряемые комплексом: а – трение индентором; б – точение:

1 – контртело; 2 – индентор; 3 – резец

Вид динамометрического устройства без защитных крышек представлен на рис. 4.

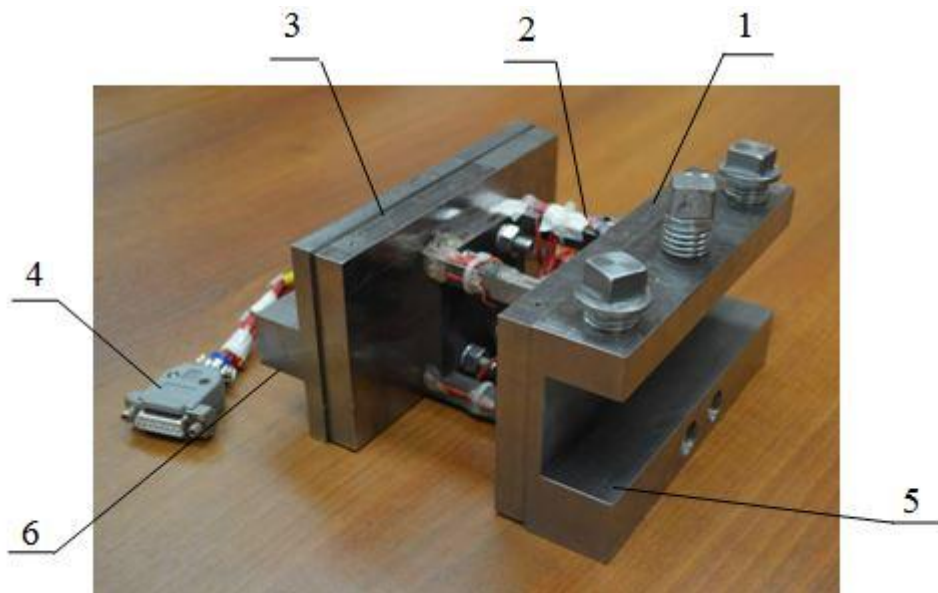


Рис. 4. Вид динамометрического устройства без крышек:

1 – инструментодержатель; 2 – упругий элемент; 3 – адаптер; 4 – разъем для подключения к измерительной аппаратуре; 5 – базовая поверхность инструментодержателя; 6 – базовая поверхность адаптера

Инструментодержатель 1 (рис. 4) служит для базирования и закрепления в динамометрическом устройстве нагрузочного приспособления (рис. 5,а) или токарного резца (рис. 5,б).

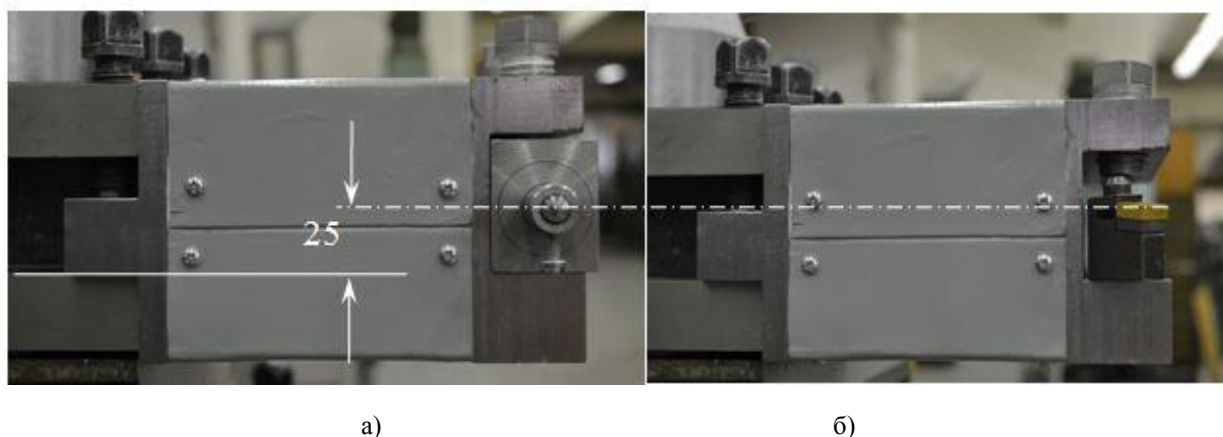


Рис. 5. Общий вид динамометрического устройства, установленного в резцедержатель станка 16K20, при испытаниях на износостойкость (а) и измерении составляющих силы резания (б)

Базовая поверхность 5 инструментодержателя расположена на одной высоте с базовой поверхностью 6 адаптера (см.рис.4). Поэтому при смене исследуемого объекта (нагрузочное приспособление или токарный резец) не надо выполнять настройку прибора по высоте линии центров станка.

Упругий элемент 2 (рис. 4) представляет собой четырехбалочный упругий элемент размером 70×70×70 мм (рис. 6). Он позволяет производить измерение сил в статической системе координат.

Использованный в устройстве для токарной обработки упругий элемент может быть использован при конструировании динамометров для измерения сил и моментов и при других видах механической обработки [5].

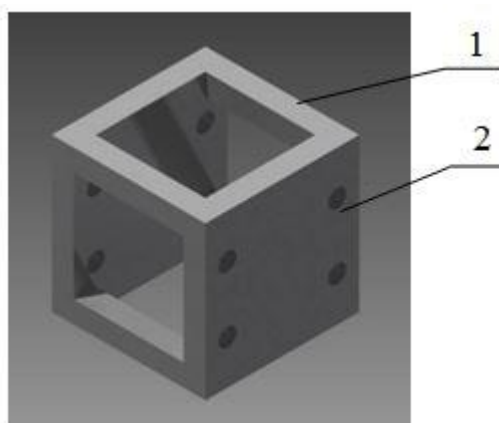


Рис. 6. Компьютерная модель упругого элемента:

1 – балка; 2 – основание

Упругий элемент представляет собой конструкцию, изготовленную из одной призматической заготовки, в которой выполнены окна, обеспечивающие получение четырех взаимно симметричных упругих элементов (балок) сечением 10х10 мм. Размер сечения балки был определен расчетом в зависимости от максимальной силы, действующей при той или иной механической обработки резанием. На соответствующих сторонах упругих элементов наклеены тензодатчики (рис. 7). Количество тензодатчиков и способ их соединения в измерительные мостовые схемы позволяют производить измерения сил независимо от места их приложения и без взаимовлияния друг на друга. Питание мостовых схем тензорезисторов осуществляется от стабилизированного источника питания постоянного напряжения величиной 6,0 В. Максимальная сила нагружения – 1500 Н.

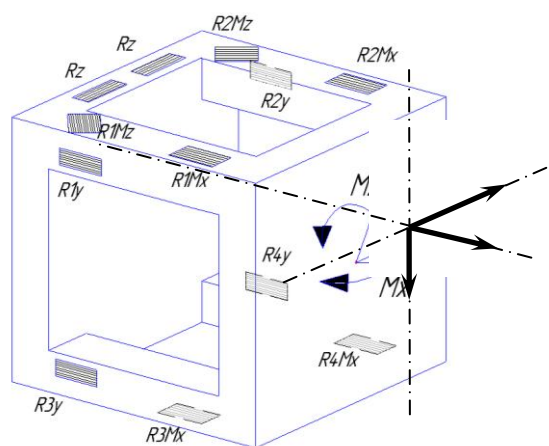


Рис. 7. Схема расклейки тензодатчиков на упругий элемент

Оптимальное место наклейки тензорезисторов было выбрано с использованием системы проектирования KATIA-V5. В качестве примера при воздействии сдвигающей силы P_y на упругий элемент были проверены наиболее напряженные места балок упругого элемента, что позволило уточнить место наклейки тензорезисторов для регистрации данной силы.

В качестве тензорезисторов были использованы элементы общего назначения типа UFLA-5-11, производитель Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd. Основные характеристики тензорезисторов: длина базы 5 мм, ширина 1,5 мм, номинальное сопротивление 120 Ом погрешность $\pm 0,3$ Ом, рабочая температура от -20° до 150° , защитное покрытие хлоропропеновый каучук.

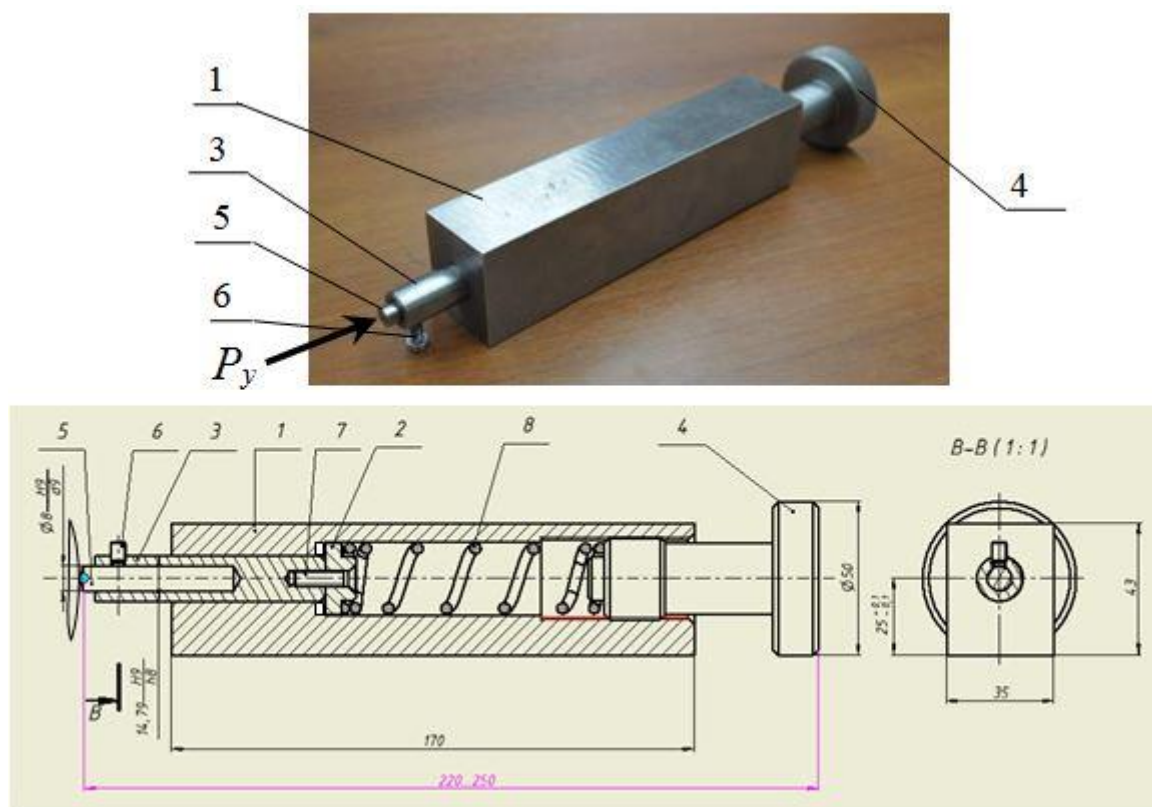
Адаптер 3 (рис. 4) служит для установки динамометрического устройства в резцедержатель токарного станка. В представляемом устройстве установлен адаптер для токарного станка 16K20, обеспечивающий расположение базовой поверхности инструментодержателя динамометрического устройства на 25 мм ниже линии центров станка (рис. 5).

При использовании токарных станков других моделей адаптер подлежит замене в соответствии с размерами резцедержателя применяемого станка.

Для изоляции упругого элемента и тензодатчиков от воздействия окружающей среды, смазочно-охлаждающих технологических средств, пыли и др. устройство закрыто

Нагрузочное устройство

Конструкция, состав, общий вид нагрузочного устройства 5 (рис. 2) представлены на рис. 8. Устройство позволяет прижимать индентор к контртелу с усилием (50...500 МПа), необходимым по условиям проведения эксперимента.



1 – корпус; 2 – толкатель; 3 – индентородержатель; 4 – нагрузочный винт;
5 – индентор; 6 – винт крепления индентора; 7 – винт крепления толкателя; 8 – нагрузочная пружина

Индентор 5 (рис. 8) представляет собой цилиндр диаметром 8 мм из исследуемого инструментального материала [1, 7], износостойкость которого исследуется. Вершина индентора выполнена в виде усеченного конуса с углом 150° при вершине и меньшим основанием диаметром 1 мм (рис. 10). Такая форма индентора обеспечивает создание на трущихся поверхностях индентора и контртела условий трения, характерных для резания металлов (давление от 50 до 700 МПа). Конструкция нагрузочного устройства позволяет ис-

пользовать инденторы из разных инструментальных материалов, как с износостойкими покрытиями, так и без них.

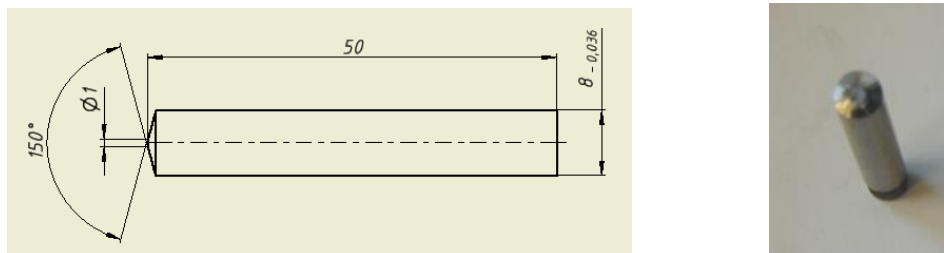


Рис. 9. Чертеж (а) и вид (б) индентора из инструментального материала

Для испытания на износостойкость стандартизованных сменных многогранных пластин (СМП) могут применяться специальные вставки, позволяющие устанавливать пластину в требуемое положение относительно заготовки.

Размеры **корпуса 1** (рис. 8) позволяют устанавливать нагрузочное устройство в динамометрическое устройство, а также непосредственно в резцедержатель токарного станка. Корпус представленного образца устройства нагружения рассчитан на установку его на широко распространенный токарный станок модели 16K20 с высотой оси центров над опорной поверхностью резцедержателя 25 мм. При установке динамометрического устройства на токарные станки моделей с другой высотой оси центров корпус подлежит замене.

Нагрузочный винт 4 (рис. 8) обеспечивает требуемую силу прижатия индентора к контртелу. Нагружение осуществляется через нагрузочную пружину.

Нагрузочная пружина 8 (рис. 8) устраняет жесткое силовое замыкание суппорта станка и индентора, что устраняет влияние биения поверхности контртела относительно оси шпинделя на усилие прижима, а также обеспечивает требуемое усилие прижима индентора. Изготовленная для устройства пружина ST10692 обеспечивает силу прижима от 50 до 500 Н при ходе винта 40 мм, что создает давления в контакте, соответствующие значениям, принятым для испытаний инструментальных материалов на трение [1].

Сила прижима индентора N рассчитывается из условия поддержания на трущейся контактной поверхности давления p , наблюдаемого на контактных поверхностях лезвия инструмента при резании, по формуле:

$$N = pS_{\text{тр}} = p \frac{\pi d^2}{4},$$

где $S_{\text{тр}}$ – площадь трения (контактной площадки), d – диаметр контактной площадки на конце индентора.

Для заготовок из стали твердостью 190-210 НВ рекомендуется давление прижима 200 МПа, что для площадки трения индентора диаметром 1 мм дает усилие прижима 160

Н. При испытании заготовок из более мягких материалов усилие прижима следует подбирать так, чтобы при трении на заготовке не происходило пластического течения материала заготовки и погружения индентора в поверхность.

Индентордержатель 3 (рис. 8) служит для установки индентора в нагрузочное устройство и позволяет закреплять цилиндрические инденторы диаметром 8 мм и длиной не менее 50 мм по базовой поверхности, выполненной с полем допуска $d9$. При использовании более коротких инденторов в отверстие держателя индентора следует установить вкладыш необходимой длины. От выпадения индентор удерживается специальным винтом.

Программное обеспечение комплекса

Информация, полученная с динамометрического устройства, обрабатывается при помощи разработанного в среде *LabVIEW* программного обеспечения. Интерфейс программы представлен на рис. 10.

Программное обеспечение позволяет:

- получать в режиме реального времени значения сил, действующих на индентор или резец;
- рассчитывать величину давления, действующую на площадке трения между индентором и контр-телом;
- рассчитывать коэффициент трения индентора по контртелу;
- визуализировать изменения величины сил во времени.

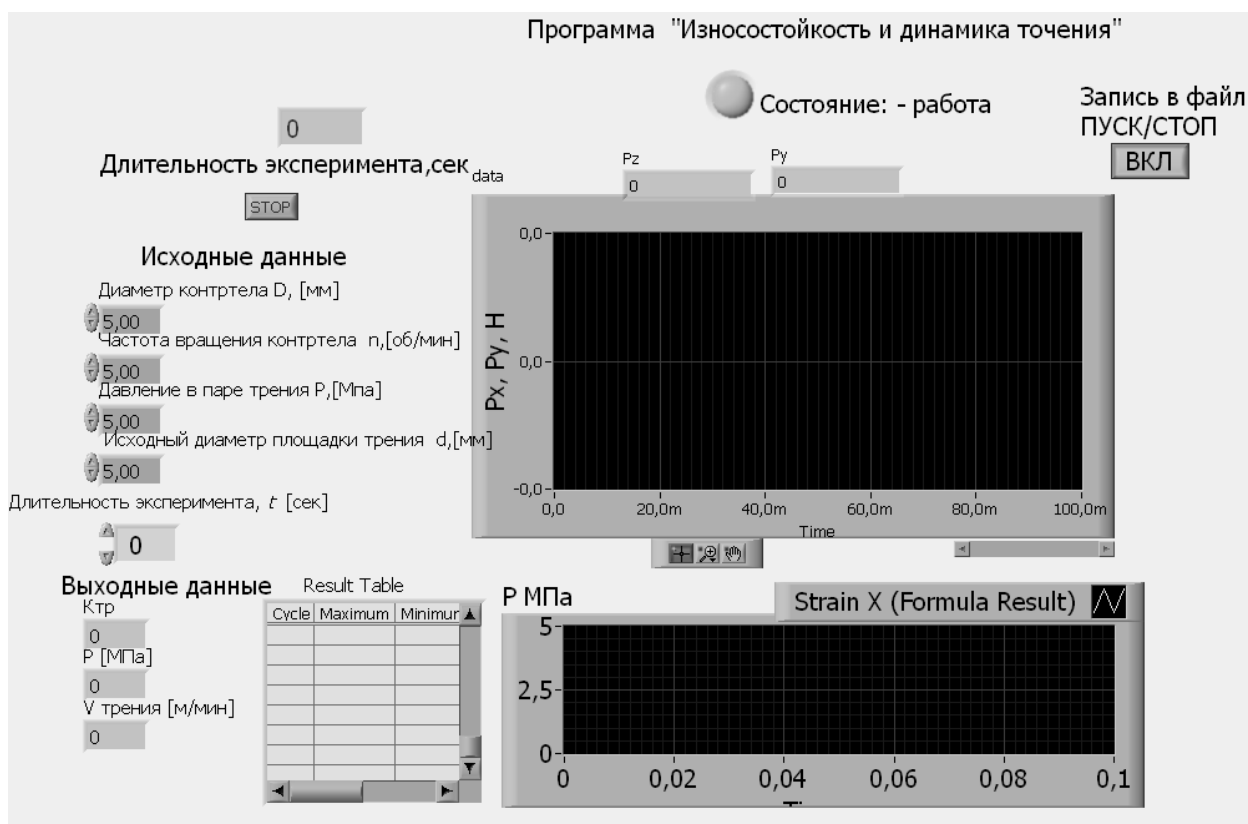


Рис. 10. Интерфейс программы «Износостойкость и динамика точения»

Применение комплекса для измерения триботехнических показателей

Данный комплекс позволяет измерять силу и коэффициент трения и износостойкость материала при трении индентора из инструментального материала по цилиндрической поверхности контртела из конструкционного материала.

Коэффициент трения рассчитывается по формуле $k_{тр} = \frac{F_{тр}}{N}$, где $F_{тр}$ – сила трения (главная составляющая силы резания), Н; N – нормальная сила прижима индентора к контртелу (радиальная составляющая силы резания), Н.

Для определения износостойкости инструментальных материалов может быть использована методика, предложенная и разработанная Г.И.Грановским [1, 7] и завоевавшая научное признание у специалистов по резанию металлов. В соответствии с этой методикой износостойкость инструментального материала определяется как отношение работы силы трения индентора по контртелу и массы материала, изношенного с индентора:

$$B = \frac{A_{тр}}{M},$$

где B – износостойкость, Дж/г; $A_{тр}$ – работа силы трения, Дж; M – масса изношенного материала, мм³.

В свою очередь, работа силы трения рассчитывается как

$$A_{тр} = F_{тр} L_{тр} = P_z V \tau,$$

где $F_{тр}$ – сила трения индентора о контртело, Н; $L_{тр}$ – путь трения, м; V – скорость трения, м/с; τ – время трения, с.

Масса изношенного материала индентора определяется непосредственным взвешиванием индентора до и после эксперимента или из известных математических зависимостей исходя из объема усеченного конуса по измеренным размерам площадки трения:

$$M = 0,136(d_2^3 - d_1^3)\rho,$$

где d_1 и d_2 – диаметр площадки трения в начале эксперимента и в конце, мм; ρ – плотность инструментального материала, г/мм³.

Таким образом износостойкость B может быть рассчитана по следующей формуле:

$$B = \frac{F_{тр} V \tau}{0,136 \rho (d_2^3 - d_1^3)} \cdot \text{или} \quad B = \frac{F_{тр} V \tau}{M}.$$

Заключение

Разработанный комплекс позволяет выполнять исследования износостойкости инструментальных материалов и динамических показателей операции точения.

Измерительный комплекс имеет относительно простую технологию изготовления, оборудован штатными легкодоступными электронными средствами, что позволяет реко-

мендовать его для оснащения исследовательских лабораторий машиностроительных предприятий.

Список литературы

1. Грановский Г.И. Износостойкость твердых сплавов и закаленных инструментальных материалов // Резание металлов и инструмент. Сборник статей. Под ред. Г.И.Грановского.- М.: Изд-во машиностроительной литературы, 1955.- С.95-111
2. Виноградов Д.В. Оценка качества быстрорежущего инструмента / Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 1993. № 10-12. С. 121-125.
3. Виноградов Д.В. Применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) при резании металлов. Основы применения СОТС / Справочник. Инженерный журнал. 2001. №7. С.61-64.
4. Виноградов Д.В. Применение смазочно-охлаждающих технологических сред (СОТС) при резании металлов. Охлаждающее действие СОТС / Справочник. Инженерный журнал. 2001. №9. С.39-42.
5. Древаль А.Е., Андрушко С.В., Федотов Н.И. Устройства диагностирования состояния режущего инструмента по динамическим показателям / Диагностика технологических процессов: Материалы семинара. М.: Знание, 1990. С.69-74.
6. Даниленко Б.Д. Возможности использования показателя обрабатываемости материала в качестве поправочного коэффициента при расчете скорости резания / Известия высших учебных заведений. Машиностроение.- 2013. №2. С.32-35.
7. Грановский Г.И, Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1985. 304 с.