

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛ ТРЕНИЯ ПО ПЕРЕДНЕЙ ГРАНИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Неумоина Н.Г., Иващенко А.П.

Камышинский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», г. Камышин, Россия (403874, Волгоградская обл., г. Камышин, ул. Ленина, 5а), e-mail: od@kti.ru

В статье приведен один из способов измерения сил трения по передней грани режущего инструмента с учетом длины контакта в зоне резания, который реализуется на специальном оборудовании в виде стенда, изготовленного на базе токарно-винторезного станка модели 1А616 и разработанной оригинальной методики измерения сил трения и длин контактов при резании материалов. Для того чтобы оборудование позволяло производить высокоточные измерения сил трения по передней грани резца с целью изучения касательных сил, был разработан, обоснован и апробирован способ измерения этих сил, который приведен в статье. Установлено, что с помощью данного способа устройство, описанное в статье, измеряет касательную силу по передней грани режущего инструмента. В результате измерений с помощью разработанного способа и устройства по методике измерения сил трения и длин контактов между срезаемым слоем и передней гранью инструмента экспериментально определены силы трения для пары «40XH2MA – T5K10».

Ключевые слова: резание материалов, силы резания, режущий инструмент.

WAY OF MEASUREMENT OF THE FRICTIONAL FORCES ON FORWARD SIDE OF CUTTING TOOL

Neumoina N.G., Ivashchenko A.P.

Kamyshin Technology Institute (branch) of the Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia (403874, the Volgograd region, Kamyshin, Lenin's street, 5a), e-mail: ivashchenko@kti.ru

In article one of ways of measurement of frictional forces on a forward side of the cutting tool taking into account contact length presents in a cutting zone which is realized on the special equipment in the form of the stand made on the basis of the lathe screw cutter of model 1A616 and the developed original technique of measurement of frictional forces and lengths of contacts when cutting materials. So the equipment allowed to make high-precision measurements of frictional forces on a forward side of a cutter for the purpose of studying of tangents forces the way of measurement of these forces which is given in article was developed, justified and tested. It is established that by means of this way the device described in article, measures tangents force on a forward side of the cutting tool. As a result of measurements by means of the developed way and the device on techniques of measurement of frictional forces and lengths of contacts between a cut-off layer and a forward side of the tool friction forces for pair "40XH2MA-T5K10" are experimentally determined.

Keywords: cutting materials, cutting forces, cutting tool.

Для изучения процессов, протекающих при резании материалов, необходимо не только знать параметры резания (скорость резания, подачу, глубину резания, силы резания и физико-механические свойства режущего инструмента и обрабатываемого материала), но и дополнительно учитывать другие параметры, которые явным образом измерить нельзя, например, силы трения по передней, задней или обеим граням. В статье приведен один из способов измерения сил трения по передней грани режущего инструмента с учетом длины контакта в зоне резания, который реализуется на специальном оборудовании в виде стенда, изготовленного на базе токарно-винторезного станка модели 1А616 [2] и разработанной оригинальной методики измерения сил трения и длин контактов при резании материалов [4]. На стенде были установлены: устройство для измерения сил трения и длин контактов при резании

материалов «ИУ-5-ТРп» (рис. 1) (Пат. №2397476 РФ) [5] с контрольно-измерительной аппаратурой фирмы ЗАО «ПРИБОР.РУ» [2]. Разработанная методика [4] отличается от существующей методики, описанной М.Б. Гордоном (Пат. №88039 СССР) [1], тем, что при проведении измерений сил трения между срезаемым слоем и передней гранью режущего инструмента значительно сокращается трудоемкость предварительной настройки измерительного оборудования. Для правильности показаний измерительным оборудованием сил трения перед измерениями была произведена оценка точностных характеристик этого устройства [2]. В ходе оценки установлено, что суммарная погрешность при измерениях сил трения не превышает 5–6 %. Устройство способно в широком диапазоне режимов резания производить высокоточные измерения сил трения по передней грани резца с целью изучения касательных сил, действующих на этой грани (Пат. №2397476 РФ [5]). Для того чтобы устройство позволяло производить высокоточные измерения сил трения по передней грани резца, с целью изучения касательных сил был разработан и апробирован способ измерения этих сил, который приведен ниже.

Режущая часть устройства (см. рис. 1) состоит из двух частей подпружиненной пластины 3 с накладкой 2 и режущей пластины 1, разделенных между собой по углу заострения и составляющих переднюю грань резца. Подпружиненная пластина 3 с накладкой 2 расположена симметрично между телами качения 4 и имеет возможность горизонтального перемещения, а режущая пластина 1 расположена вертикально и неподвижно закреплена в корпусе устройства. При этом режущая часть устройства спроектирована так, что накладка 2 измеряет только касательную силу, то есть силу трения, действующую по передней грани этой пластины, причем доказательство этого утверждения приведено ниже.

Для измерения сил трения по передней грани резца необходимо и достаточно разделить переднюю и заднюю грани по углу заострения, исключить вертикальное и обеспечить горизонтальное перемещение передней грани, величина которого измеряется датчиком, закрепленным на резце, а также исключить вертикальное и горизонтальное перемещения задней грани.

Допустим, что передняя и задняя грань резца при резании материалов воспринимает суммарную силу R от детали и сходящей стружки (см. рис. 2). Сила R раскладывается на две составляющие: силу R_1 , действующую на переднюю грань резца со стороны стружки, и силу R_2 , действующую на заднюю грань резца со стороны детали. Сила R_2 стремится переместить заднюю грань резца, следовательно, нормально задней грани действует нормальное давление N_y от детали, а по касательной к этой грани действует касательная сила F_z , возникающая между деталью и задней гранью резца. Сила R_1 стремится переместить переднюю грань резца,

следовательно, нормально передней грани действует нормальное давление N_z от сходящей стружки, а по касательной к этой грани действует касательная сила F_y , возникающая между сходящей стружкой и передней гранью резца.

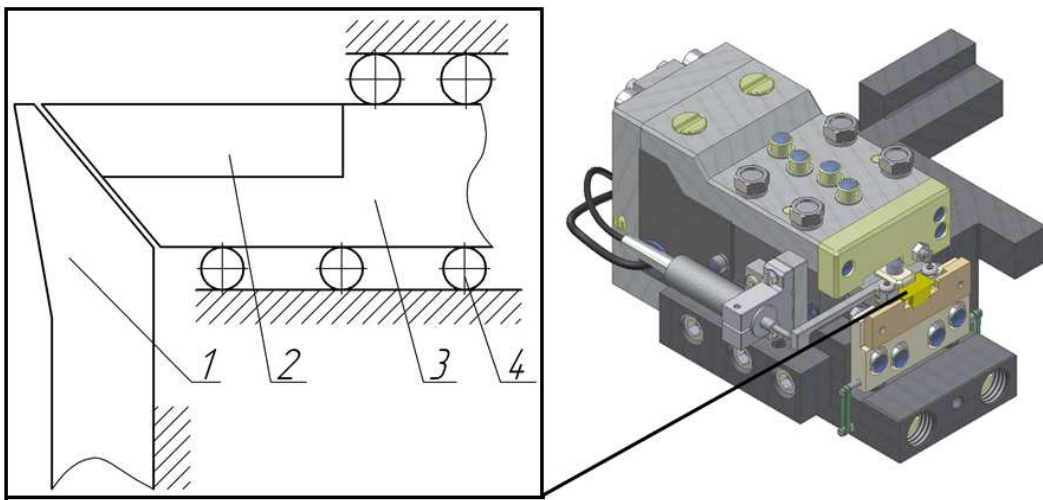


Рис. 1. Режущая часть (слева) устройства для измерения сил трения (справа) [5]

Необходимо доказать, что:

1. При перемещении передней грани резца измеряется касательная сила F_y и отсекается сила нормального давления N_z ;
2. Задняя грань резца отсекает силы N_y и F_z .

Докажем сначала второе утверждение, что задняя грань резца отсекает силы N_y и F_z . Для этого проведем секущую $N-N'$ через вершину резца (см. рис. 3).

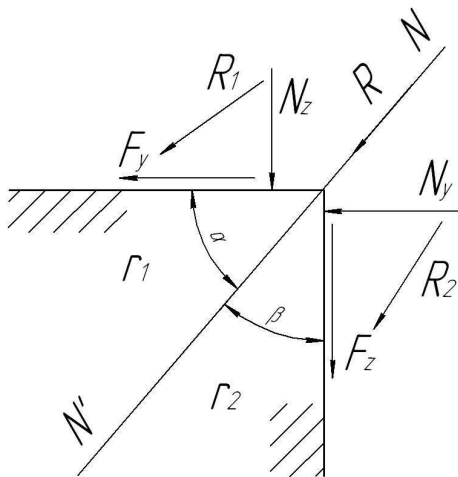


Рис. 2. Резец и силы, действующие силы на этот резец

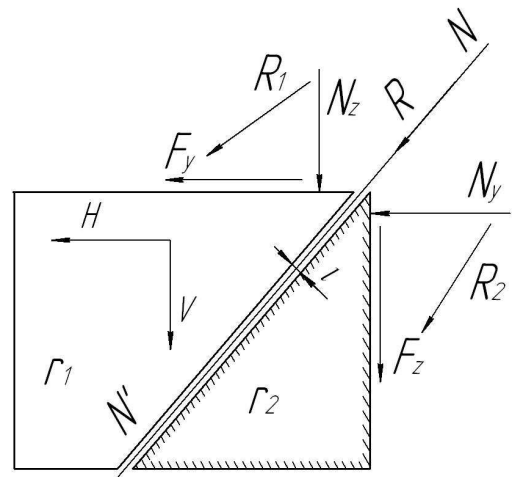


Рис. 3. Перемещения резцов

Данная секущая $N-N'$ делит резец по углу заострения на две части: переднюю грань, на которую действует сила R_1 и от которой возникают силы N_z и F_y ; заднюю грань, на которую действует сила R_2 и от которой возникают силы N_y и F_z . Разъединим переднюю и заднюю грань

по секущей $N-N'$, получим два независимых резца r_1 и r_2 , которые в сумме дают один общий резец (см. рис. 3).

Разрешим резцу r_1 перемещение в горизонтальном H и вертикальном V направлениях, а перемещения резца r_2 ограничим в горизонтальном H и вертикальном V направлениях. Следовательно, под действием суммарной силы R на общий резец будет перемещаться резец r_1 в горизонтальном H и вертикальном V направлениях, образуя зазор между собой и резцом r_2 , при этом резец r_2 не будет перемещаться (см. рис. 3).

Когда $l \rightarrow 0$ резцы r_1 и r_2 действуют как один общий резец, но когда $l \rightarrow L$, тогда резцы r_1 и r_2 так же действуют, как один общий резец, но резец r_1 воспринимает силу R_1 , а резец r_2 воспринимает силу R_2 . Так как резец r_2 не имеет горизонтального H и вертикального V перемещения, то он отсекает силу R_2 , а тем самым нормальное давление N_y и касательную силу F_z от резца r_1 и воспринимает их. Следовательно, расстояние l есть зазор между резцами, которое ограничивается конструкцией и технологическими условиями изготовления общего резца. Расстояние l должно быть минимальным, но достаточным, чтобы резец r_1 не соприкасался с резцом r_2 .

Докажем теперь первое утверждение, что передняя грань резца измеряет касательную силу F_y , отсекая нормальное давление N_z .

Введем допущение, считаем резец r_1 абсолютно твердым телом, следовательно, деформаций резца r_1 в горизонтальном H и вертикальном V направлениях не будет, а деформации резца r_2 не превышают зазор l , следовательно, между резцами r_1 и r_2 будет гарантированный зазор l .

Чтобы исключить нормальное давление N_z и оставить только горизонтальную силу F_y , необходимо исключить перемещение резца r_1 в вертикальном V направлении. Для того чтобы исключить перемещения, введем три абсолютно жесткие катковые опоры A , B и C (см. рис. 4). При этом опора A и B являются направляющими резца r_1 в горизонтальном направлении H , а опора C исключает момент, возникающий от силы R_1 вокруг опоры A , так как опора A смещена на некоторое расстояние от линии действия силы R_1 .

Учитывая то, что опоры A , B и C , а также сам резец r_1 являются абсолютно жесткими телами, то деформациями их можно пренебречь, при этом передняя грань резца воспринимает силу нормального давления N_z , а сама грань перемещается под действием касательной силы F_y , следовательно, резец r_1 будет перемещаться только в горизонтальном H направлении под действием только касательной силы F_y . Если установить датчик, так как показано на рис. 4, то, зная величину перемещения передней грани, можно измерить касательную силу F_y . В вертикальном V направлении перемещения передней грани резца будут исключены, так как

вертикальным перемещениям препятствуют катковые опоры A , B и C .

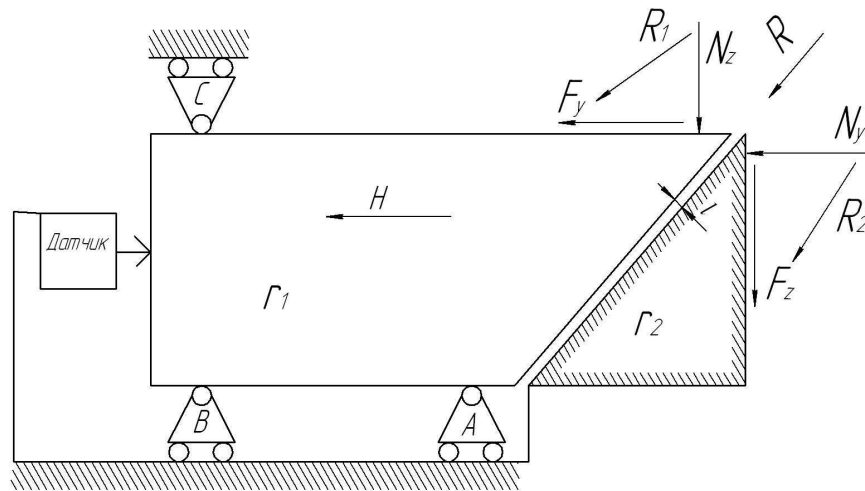


Рис. 4. Катковые опоры резца r_1

Горизонтальная сила F_y – это есть сила трения по передней грани резца F_{mp} , следовательно, утверждение, приведенное выше, оказалось верным.

Также если передняя грань имеет вертикальное перемещение, то часть этого перемещения будет накладываться на горизонтальное перемещение этой грани, а, следовательно, часть вертикальной силы будет вычитаться из горизонтальной силы, то есть силы трения.

Следовательно, если рассматривать тела не как абсолютно твердые, а как тела, имеющие конечную деформацию, то можно утверждать, что резец r_1 и опоры A , B , и C будут иметь конечную деформацию. Относительно опоры A будет поворот резца r_1 на некоторый угол γ под действием силы N_z (см. рис. 4) и перемещение резца r_1 под действием силы трения F_{mp} . Тогда на горизонтальное перемещение резца r_1 будет наложена и часть вертикального перемещения резца r_1 .

Примем, что резец r_1 есть горизонтальная балка, закрепленная на трех опорах A, B и C , на которую действует сила R_1 и от этой силы возникает нормальное давление N_z и сила трения F_{mp} (см. рис. 5). Под действием нормального давления N_z и силы трения F_{mp} от стружки резец r_1 переместится на некоторое расстояние в вертикальном и горизонтальном направлении и повернется относительно опоры A на некоторый угол γ отличный от нуля (см. рис. 5). Точка A перейдет в точку A_1 , точка C в C_1 , а точка B в B_1 . Вершина резца r_1 точка G перейдет под действием силы трения F_{mp} в точку G_1 , и резец r_1 дополнительно из точки G_1 переместится в точку G_2 под действием нормального давления N_z . При этом суммарное перемещение резца в горизонтальном направлении составит отрезок GG_3 . Отрезок GG_3 является суммой горизонтального GG_1 и проекции вертикального перемещения на горизонтальное G_1G_3 (см. рис. 5, ΔGG_2G_3).

Можно сделать вывод, что если передняя грань имеет вертикальное перемещение G_1G_2 , то часть этого перемещения G_1G_3 будет накладываться на горизонтальное перемещение GG_1 этой грани.

Нормальное давление N_z всегда действует перпендикулярно передней грани. Если передняя грань имеет вертикальное перемещение G_1G_2 , то на новом положении этой грани A_1C_1 будет действовать нормальное давление N'_z . Сила трения F'_{mp} будет действовать так же параллельно новому положению A_1C_1 передней грани резца. На линию действия силы трения F'_{mp} проецируется дополнительная составляющая N''_z от нормальной силы N'_z (см. рис. 5).

Тогда измеренная сила трения $F_{mp}^{изм}$, действующая по линии A_1C_1 , будет равна разности силы трения F'_{mp} и дополнительной составляющей N''_z от силы нормального давления N'_z .

$$F_{mp}^{изм} = F'_{mp} - N''_z$$

Для расчетов необходимо значение силы трения F'_{mp} , которое определяется по формуле

$$F'_{mp} = F_{mp}^{изм} + N''_z$$

Измеренная сила трения $F_{mp}^{изм}$ при проведении экспериментов фиксируется измерительным датчиком, установленным на резце r_2 (рис. 4).

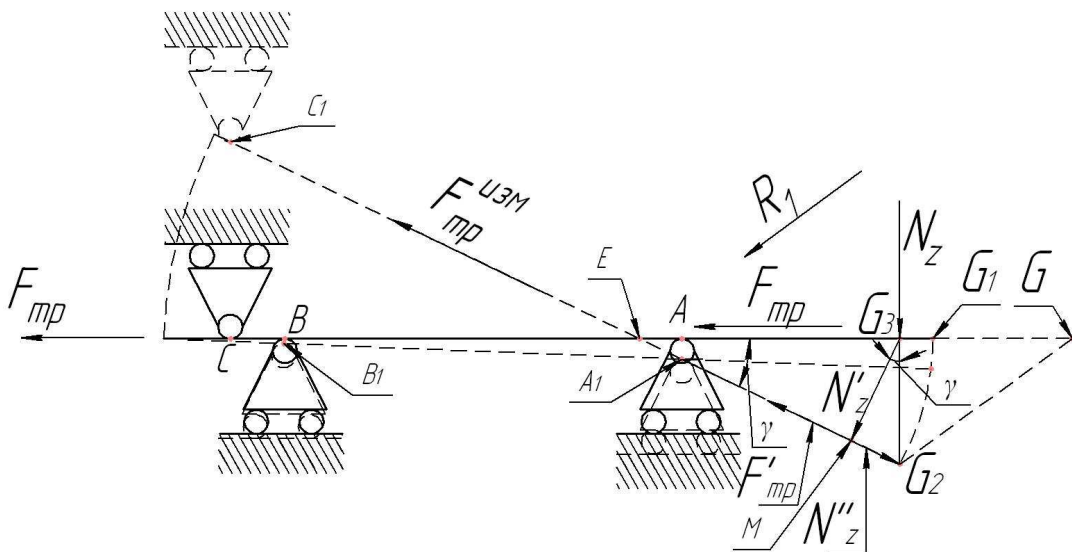


Рис. 5. Перемещения резца r_1

Общая сила трения F_{mp} , действующая по передней грани резца, то есть по линии AC определяется по формуле: $F_{mp} = F'_{mp} \cdot \cos \gamma$.

В результате измерений с помощью разработанного способа и устройства по методике измерения сил трения и длин контактов между срезаемым слоем и передней гранью инструмента проверена правильность расчёта сил трения в силовой модели для стали 40ХН2МА на передней грани инструмента [6, 7]. Получены экспериментальные зависимости длины и ширины контакта для пары «40ХН2МА – Т5К10» от скорости, глубины резания и подачи [2]. Установлено, что расчёты сил трения в силовой модели имеют хорошую корреляцию с

экспериментальными значениями сил трения для пары «40ХН2МА – Т5К10» [2], следовательно, данный способ измерения сил трения по передней грани режущего инструмента отвечает первоначально поставленным для измерения сил трения критериям.

Список литературы

1. А. с. 88039 СССР, МПК G01n. Прибор для измерения сил трения, возникающих в процессе резания / М.Б. Гордон; Оpubл. в Бюл, 1958.
2. Интенсификация режимов резания при лезвийной обработке конструкционных хромоникельмолибденовых сталей на основе уточнения и развития силовой модели: Дис... канд. техн. наук: 05.02.07 / Иващенко А. П. – Саратов, 2011. – 20 с.
3. Интенсификация режимов резания при лезвийной обработке конструкционных хромоникельмолибденовых сталей на основе уточнения и развития силовой модели / А.П. Иващенко // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 6; (Электронный журнал). – URL: <http://www.science-education.ru/106-7876> (дата обращения: 19.10.2013).
4. Методика измерения сил трения и длин контактов на передней грани режущего инструмента при резании материалов / Н.Г. Неумоина, А.П. Иващенко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т. 11(27), № 5 (2). – С. 313-315.
5. Пат. 2397476 РФ, МПК G 01 N 19/02. Устройство для измерения сил трения и длин контактов при резании материалов / А.П. Иващенко, А.В. Белов, Н.Г. Неумоина. – ВолгГТУ, 2009.
6. Свидетельство 2011610255 РФ. Многофакторный анализ и синтез режимных параметров при резании конструкционных углеродистых сталей твердосплавным режущим инструментом титановольфрамкобальтовой группы /А.П. Иващенко. – ВолгГТУ, 2011.
7. Свидетельство. 2012615139 РФ. Расчет стойкости твердосплавного режущего инструмента при лезвийной обработке конструкционных легированных сталей /А.П. Иващенко, А.В. Белов. – ВолгГТУ, 2012. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 8 июня 2012 г.

Рецензенты:

Плотников А.Л., д.т.н., профессор, заместитель декана по научной работе, Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград.

Игнатьев А.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Автоматизация, управление, мехатроника», Саратовский государственный технический университет, г. Саратов.