

СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЗАНИЯ НА ОПЕРАЦИИ ТОЧЕНИЯ

А.О. Малькова

anet_malek@mail.ru

SPIN-код: 7649-7201

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Выполнен краткий обзор, предваряющий дальнейшие исследования способа измерения параметров резания на операции точения. Представлена классификация основных средств измерений температуры и составляющих сил резания. Рассмотрены часто используемые способы измерения составляющих сил резания и температуры. Проведен анализ способов измерений физико-механических параметров процесса резания, выявлены основные недостатки этих способов. Разработана общая компоновка измерительного стенда и управляющая программа регистрации физико-механических параметров резания в среде графического программирования LabVIEW 2011. Дано описание составляющих блок-схемы измерительного стенда для измерения физических параметров резания на операции точения. Указаны возможности и преимущества данной установки при использовании среды графического программирования LabVIEW 2011.

Ключевые слова

Способы измерения физико-механических параметров процесса резания, способы измерений составляющих сил резания, способы измерений температуры, компоновка измерительного стенда, контрольно-измерительный диагностический стенд

Поступила в редакцию 25.12.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Измерение физико-механических параметров процесса резания является одним из важных этапов в процессе назначения режимов резания, выбора режущего инструмента, при изготовлении деталей из новых и экспериментальных сталей и сплавов. Они определяют качество и точность поверхности детали, стойкость режущего инструмента, его производительность. Важность измерения физико-механических параметров заключается в оценке работоспособности инструмента для его дальнейшего использования [1].

Целью данной работы является сравнение способов измерения физико-механических параметров на операции точения.

К основным физико-механическим параметрам процесса резания относятся силы резания, скорость резания, температура в зоне резания. Существует достаточное количество способов измерения сил резания и температуры (рис. 1).

Средства измерения сил резания при точении. Наиболее часто силы резания определяют на основе непосредственного измерения с помощью специальных приборов. Средство для измерения сил резания называют динамометром. Принцип действия всех динамометров основан на измерении параметра упругого

элемента, значение которого пропорционально значению возмущающей силы (силы резания). Динамометр состоит из первичного измерительного преобразователя силы, воспринимающего нагрузку, и регистрирующего устройства [2].

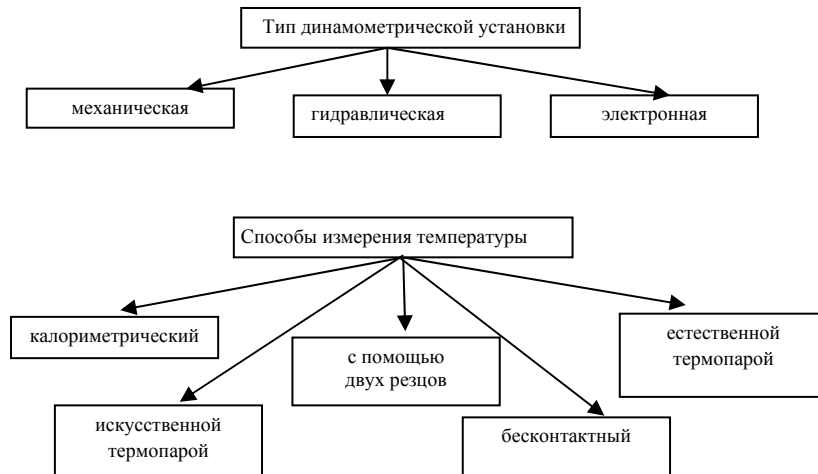


Рис. 1. Основные типы и способы измерения сил резания и температуры

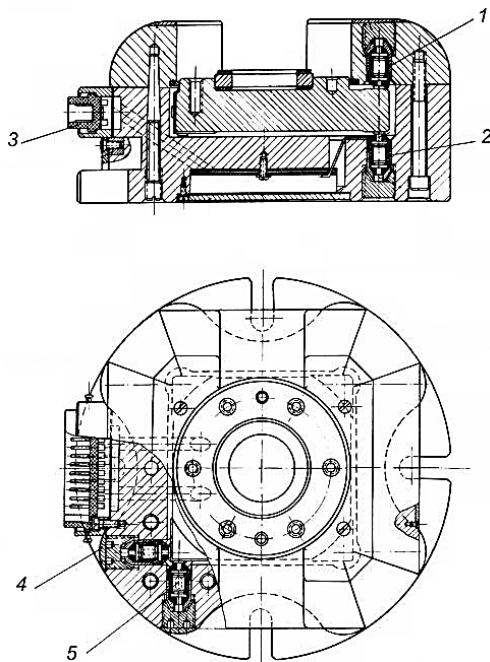


Рис. 2. Конструкция универсального динамометра модели УДМ:

1, 2, 4, 5 — датчики сил по направлениям измерения составляющих сил резания P_x, P_y, P_z ; 3 — разъем для передачи сигналов с датчиков сил на последующие регистрирующие приборы

Гидравлические динамометры не находят широкого применения по причине инерционности рычажно-поршневой системы, что значительно осложняет регистрацию быстропротекающих процессов со значительным искажением сил резания по времени и по значению.

Механические динамометры часто применяют при измерении сил резания на операциях механической обработки. Принцип измерения основан на измерении деформации упругих элементов 1, 2, изменяющих свои параметры пропорционально приложенным силам резания (рис. 2). Механические динамометры просты по конструкции, но имеют определенную инертность при измерениях.

Конструкция универсального динамометра модели УДМ показана на рис. 2 [3–5].

Принципиальная схема соединения универсального динамометра модели УДМ представлена на рис. 3. К недостаткам данной схемы можно отнести вынужденное использование отдельного усилителя напряжения сигналов, поступающего с датчиков сил, приборного щитка и шлейфового осциллографа.

Электрические динамометры являются наиболее чувствительными приборами, поскольку они малоинерционны и позволяют с помощью осциллографа выполнять запись параметров быстропротекающих процессов за тысячные доли секунды. Такие динамометры преобразуют механическое воздействие сил резания в легко измеряемые электрические величины.

Преобразование значения силы в деформацию выполняют специальные датчики: емкостные, индуктивные, тензометрические.

В емкостных датчиках (рис. 4) под воздействием силы резания перемещается упругая пластина конденсатора, изменяя воздушный зазор Δh , а следовательно, и емкость конденсатора. Изменение емкости в электрической цепи приводит к колебанию силы тока, регистрируемого с помощью гальванометра или осциллографа [4, 5].

Индуктивные датчики (рис. 5) основаны на изменении индуктивности, а следовательно, и силы тока в выходной обмотке в зависимости от воздушного зазора Δh . Изменение силы резания соответственно влияет на регистрируемый ток.

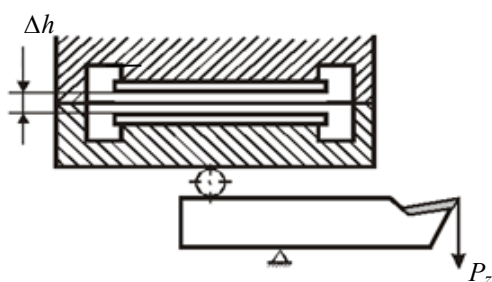


Рис. 4. Емкостной преобразователь

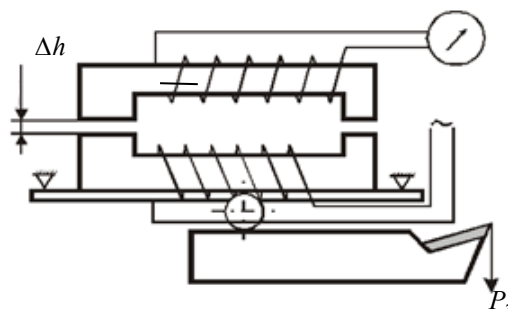


Рис. 5. Индукционный преобразователь

Проволочные (или тензометрические) датчики представляют собой несколько витков тонкой проволоки из специального сплава, которая изменяет

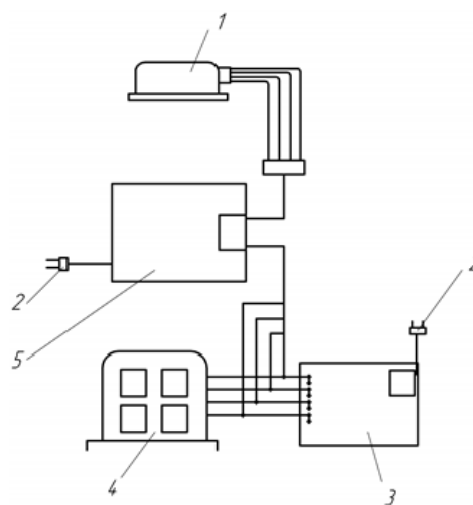


Рис. 3. Принципиальная схема соединения:

- 1 — динамометр-датчик; 2 — сеть; 3 — осциллограф; 4 — приводной щит; 5 — тензометрический усилитель 4АНЧ22

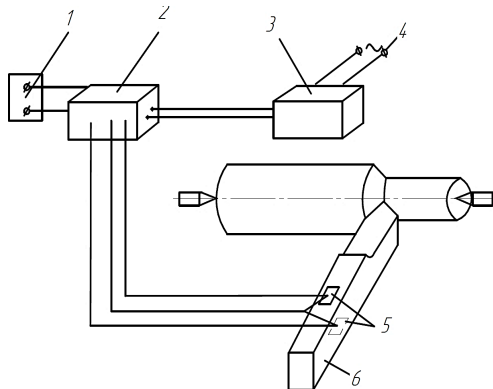


Рис. 6. Схема измерения сил резания с использованием тензометрических преобразователей:

1 — регистрирующий прибор; 2 — усилитель; 3 — стабилизатор напряжений; 4 — источник питания; 5 — проволока; 6 — державка резца

Включать стабилизатор напряжения 3, устанавливаемый между регистрирующим прибором 1 и источником питания 4 [4, 5].

В зависимости от того, сколько составляющих сил резания можно измерить динамометром, их называют одно-, двух- или трехкомпонентными.

Аналогичными способами можно измерить составляющие силы резания при фрезеровании и резбозачистке, однако при этом потребуются пересчет регистрируемых динамометром ортогональных составляющих в окружную и радиальную [6, 7].

Проанализировав все методы измерения сил резания, можно выделить их общие недостатки. Как правило, осуществляется измерение лишь одной составляющей силы, отсутствует возможность записи измеренных данных в файл, требуется использовать отдельный усилитель, источник питания и стабилизатор напряжения.

Способы измерения температуры в зоне резания при точении. Калориметрический способ применяют для определения всего количества теплоты, выделяющейся в процессе обработки резанием, а также для определения количества теплоты, переходящего в стружку или инструмент. Зная количество воды в калориметре, масса стружки и ее теплоемкость, можно определить среднюю температуру стружки по разности температуры воды в калориметре до и после резания [8].

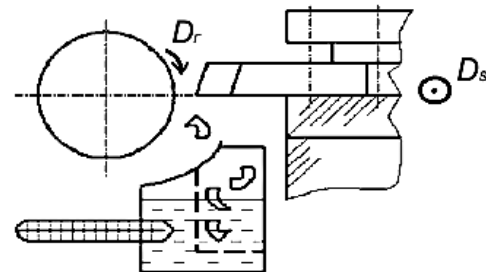


Рис. 7. Схема измерения температуры калориметрическим способом

Недостатками этого способа являются: потребность в дополнительных приспособлениях и устройстве для сбора стружки, а также погрешности измерений.

Способ термопары. Измерение температуры с помощью термопар является наиболее удобным и наиболее широко применяется в современных исследованиях.

Способ измерения естественной термопарой (рис. 8) наиболее прост в осуществлении, но для получения абсолютных значений температуры требуется проведение трудоемкой операции градуирования термопары «инструмент — обрабатываемый материал» [8].

Недостатками этого метода являются: отсутствие возможности регистрации измерения термоЭДС в режиме реального времени с дальнейшей записью данных в файл, сложность регистрации малых значений термоЭДС.

Способ двух резцов. Разновидностью способа естественной термопары является способ с использованием двух резцов (рис. 9), который сводится к резанию одновременно двумя резцами, изготовленными из разных материалов. Этот способ позволяет исключить мучительный процесс градуирования термопары для каждого вида обрабатываемого материала; термопара градуируется один раз, полученная градуировочная кривая используется для всех обрабатываемых материалов [8].

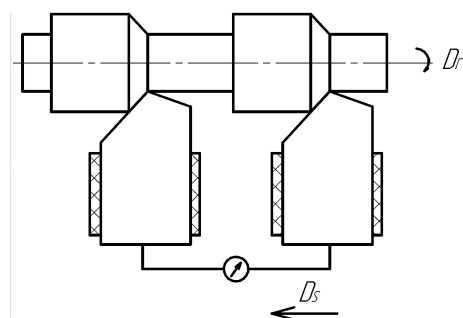


Рис. 9. Схема измерения термопары с помощью двух резцов

прибор 3. Спай термопары регистрирует температуру в режущем клине инструмента на некотором расстоянии от передней поверхности [8].

Недостатками этого способа являются: потребность в дополнительных приспособлениях, неточность измерений, необходимо знать параметры термопары.

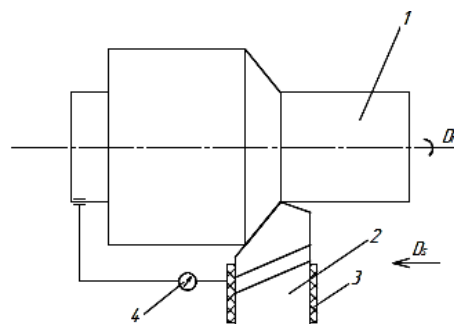


Рис. 8. Схема измерения температуры в зоне резания способом естественной термопарой:

1 — обрабатываемая заготовка; 2 — резец;
3 — изоляция; 4 — милливольтметр

Недостатки у этого метода те же самые, что и у калометрического метода. Метод искусственной термопары. Искусственной называется термопара, у которой оба элемента искусственно вводятся в инструмент или заготовку для измерения температуры. Для измерения температуры, например, при токарной обработке (рис. 10), в корпусе резца 1 сделано отверстие (рис. 10, а), в которое вставлена термопара 2 (рис. 10, б), подключенная к измерительному

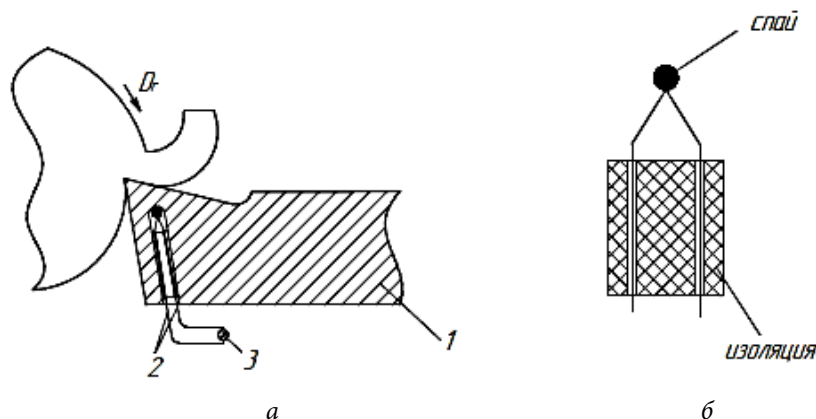


Рис. 10. Измерение температуры в зоне резания методом искусственной термопары:

а — схема измерения; б — термопара

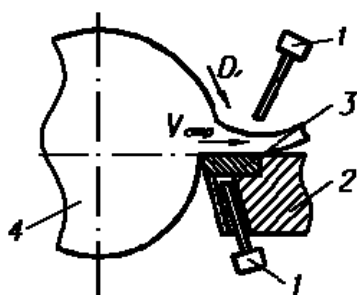


Рис. 11. Схема измерения температуры бесконтактным способом:

1 — пирометр; 2 — державка реза; 3 — режущая пластина; 4 — заготовка

Бесконтактный способ. Для измерения температуры применяют специальные приборы — пирометры, которые регистрируют тепловое излучение, исходящее от нагретого тела (рис. 11) [8].

Температуру поверхности инструмента за пределами зоны его контакта с обрабатываемым изделием или стружкой можно определить с помощью термочувствительных красок, которые изменяют свой цвет при нагревании до определенной температуры.

Проанализировав все методы измерения сил резания и температуры, сделаем общие выводы о недостатках этих методов.

1. Сложно зафиксировать и записать результаты измерения в режиме реального времени с высокой частотой опроса.

2. Сложно свести результаты измерения в таблицу для дальнейшей обработки, расчета, анализа, построения графиков и проведения статистических расчетов.

3. Регистрация приборами напряжения и тока затруднена при высокой частоте изменения сигнала за счет их инертности, что приводит к потерям информации.

4. Визуальное представление данных в режиме реального времени отсутствует.

По итогам анализа вышесказанных методов предлагается применять иной способ регистрации и измерения физических параметров. Общая компоновка измерительного стенда для этого способа изображена на рис. 12. Установка

Способ измерения физико-механических параметров резания на операции точения

представляет собой совокупность различных средств автоматизированного контроля и измерения физических параметров резания [9, 10]. К таким средствам относятся измерительный стенд с набором аналого-цифровых преобразователей (АЦП) для регистрации сил, температур, скорости. Для регистрации измерения и сбора экспериментальных данных используется среда графического программирования LabView v. 11.0 компании National Instruments. Для этого создана управляющая программа, блок-схема которой представлена на рис. 12.

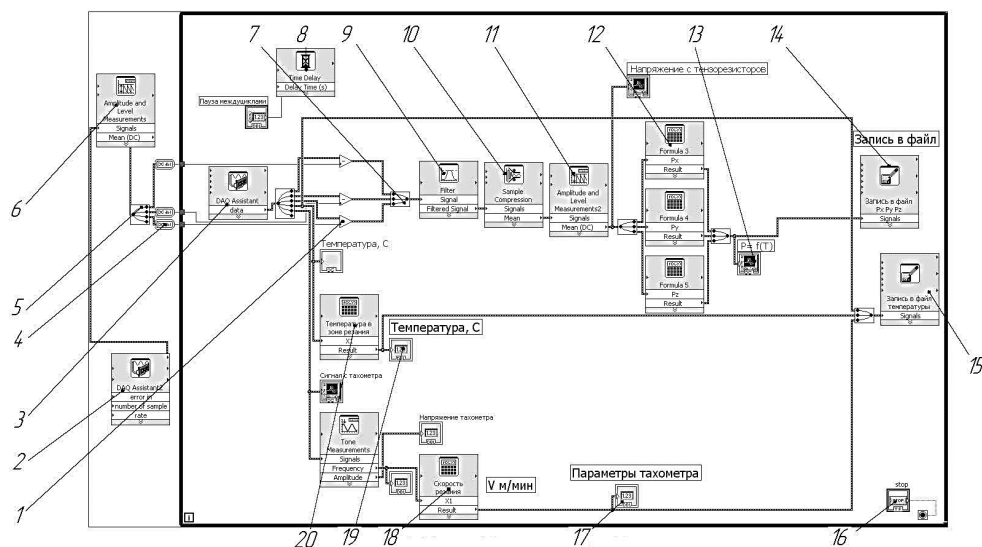


Рис. 12. Блок-схема управляющей программы для измерения физических параметров процесса резания:

1 — терминал вычитания начальных значений выходных напряжений; 2 — терминал регистрации начальных значений напряжений выходных сигналов; 3 — терминал регистрации значений напряжений выходных сигналов; 4 — терминал преобразования динамического формата данных в числовой формат, блок измерения значений составляющих сил резания, амплитудно-частотных характеристик, термоЭДС, частоты оборотов шпинделя; 5 — терминал разделения каналов передачи данных; 6 — терминал расчета среднего значения начального сигнала; 7 — терминал группировки каналов передачи данных; 8 — терминал установки времени задержки между циклами измерений; 9 — терминал сглаживания посторонних помех; 10 — терминал сжатия количества измеренных значений; 11 — расчет среднего арифметического значения напряжения; 12 — терминал пересчета значения сигнала с УДМ-600 в силы резания; 13 — терминал отображения графика изменения сил резания во времени. Блок записи в файл измеренных величин; 14 — терминал записи в файл измеренных значений сил; 15 — терминал записи в файл температуры в зоне резания и числа оборотов шпинделя. Блок пересчета измеренных значений: сигнала в значения физических параметров; 16 — терминал отображения температуры в зоне резания станка; 17 — терминал пересчета значения сигнала от естественной термопары в температуру в зоне резания; 18 — терминал пересчета значения сигнала с тахометра в количество оборотов шпинделя станка; 19 — терминал отображения температуры в зоне резания; 20 — терминал остановки работы программы

Представленная схема измерения позволяет измерять и регистрировать данные составляющих сил резания, температуры, скорости резания. Представленная программа измерения параметров резания разработана в среде графиче-

ского программирования LabView v. 11.0. Программа позволяет проводить измерения в режиме реального времени с одновременным выводом выбранных параметров механической обработки в виде графиков и одновременным сохранением измеренных данных в текстовом файле. Точность регистрируемых данных зависит от разрядности используемых АЦП, в нашем случае используются 16-разрядные АЦП.

Достоинствами предложенной схемы являются наглядность программирования, широкая возможность представления регистрируемых данных, создание информативного пользовательского интерфейса. При необходимости возможна математическая (статистическая) обработка.

Выводы. Разработка новой блок-схемы позволяет измерять, регистрировать и анализировать экспериментальные данные в режиме реального времени, визуализировать наблюдения исследования физических величин, удобна для работы с данными, полученными в автоматическом режиме, дает возможность оперативно редактировать управляющую программу, в режиме реального времени измерять силы, температуру, скорость с возможностью записи данных в файл.

В ходе дальнейшей работы планируется собрать измерительный стенд, провести его настройку и использовать для проведения испытаний для конкретной механической операции, установить влияние режимов резания на физические параметры процесса резания на примере точения.

Литература

- [1] Безъязычный В.Ф., Кордюков А.В., Тимофеев М.В., Фоменко Р.Н. Разработка динамометрической системы для измерения силы резания при точении. *Известия МГТУ МАМИ*, 2014, т. 2, № 1 (19), с. 171–176.
- [2] Козлов В.Н. *Резание материалов и режущий инструмент*. Томск, Изд-во ТПУ, 2014, 131 с.
- [3] Виноградов Д.В., Древаль А.Е., Васильев С.Г. Комплекс для оценки износостойкости материалов и сил резания при точении. *Инженерный вестник*, 2014, № 9. URL: <http://engsi.ru/doc/727928.html> (дата обращения 12.12.2017).
- [4] *Руководство к универсальному динамометру УДМ конструкции ВНИИ*. Москва, ВНИИ, 1979, 22 с.
- [5] Малькова Л.Д. и др. *Физические основы механической и физико-технической обработки материалов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016, 88 с.
- [6] Мальков О.В., Головки И.М. Экспериментальное определение модели силы при резьбофрезеровании. *Сборник трудов Международной молодежной конференции «Инновации в машиностроении»*. Томск, Изд-во ТПУ, 2012, с. 73–77.
- [7] Малькова Л.Д. Оценка энергопотребления при механической обработке плоскостей различными способами фрезерования. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, № 12 (60). URL: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/temp/1559.html> (дата обращения 14.12.2017).
- [8] Косенко А.И. Сборник методических указаний по предметам: Резание материалов и Резание материалов и режущий инструмент. Новгород, Изд-во НовГУ, 2006, 140 с.
- [9] Древаль А.Е., Васильев С.Г., Виноградов Д.В., Мальков О.В. Контрольно-измерительный диагностический стенд для экспериментальных исследований в технологии

механической обработки. *Наука и образование: научное издание*, 2014, № 12, с. 22–58. URL: <http://technomag.bmstu.ru/doc/749286.html> (дата обращения 12.12.2017).

- [10] Шуляк Я.И., Васильев С.Г. Модернизация установки измерения сил резания на базе динамометра УДМ-600. *Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация*, 2016, № 1. URL: <http://maplants.elpub.ru/jour/article/view/33> (дата обращения 14.12.2017).

Малькова Анна Олеговна — студентка кафедры «Инструментальная техника и технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Васильев Сергей Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальная техника и технологии», МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

THE METHOD OF MEASURING THE PHYSICAL AND MECHANICAL PARAMETERS OF CUTTING DURING THE TURNING PROCESS

A.O. Malkova

anet_malek@mail.ru

SPIN-code: 7649-7201

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article gives a brief review preceding the following research of the method of measuring the cutting parameters during the turning process. We introduce a classification of the main temperature measuring instruments and cutting force components. The commonly used methods for measuring the cutting force components and temperature are discussed. The work gives detailed analysis of the measurement methods for physical and mechanical parameters of the cutting process and finds out major disadvantages of these methods. We have developed a general layout of the measuring stand and a control software program of registering physical and mechanical parameters of cutting in the graphical programming environment LabVIEW 2011. The article describes the components of the measuring stand flowchart used for measuring the physical cutting parameters during the turning process. We point out the capabilities and advantages of this installation when applying the graphical programming environment LabVIEW 2011.

Keywords

Measurement methods for physical and mechanical parameters of the cutting process, methods for measuring the cutting force components, methods for measuring the temperature, layout of the measuring stand, control-and-measuring test bench

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Bez'yazychnyy V.F., Kordyukov A.V., Timofeev M.V., Fomenko R.N. Development of dynamometer system for measuring cutting forces when turning. *Izvestiya MGTU MAMI*, 2014, vol. 2, no. 1 (19), pp. 171–176.
- [2] Kozlov V.N. Rezanie materialov i rezhushchiy instrument [Cutting of materials and cutting tools]. Tomsk, TPU publ., 2014, 131 p.
- [3] Vinogradov D.V., Dreval' A.E., Vasil'yev S.G. System for assessment of material wearing capacity and cutting forces while turning. *Inzhenernyy vestnik* [Engineering Bulletin], 2014, no. 9. Available at: <http://engsi.ru/doc/727928.html> (accessed 12 December 2017).
- [4] Rukovodstvo k universal'nomu dinamometru UDM konstruktsii VNII [Guide to universal UDM dynamometer of VNII construction]. Moscow, VNII publ., 1979, 22 p.
- [5] Mal'kova L.D. et al. Fizicheskie osnovy mekhanicheskoy i fiziko-tekhnicheskoy obrabotki materialov [Physical basis of mechanical and physical-technical treatment of materials]. Moscow, Bauman Press, 2016, 88 p.
- [6] Mal'kov O.V., Golovko I.M. Eksperimental'noe opredelenie modeli sily pri rez'bofrezovanii [Experimental definition of force model in process of thread milling]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy molodezhnoy konferentsii "Innovatsii v mashinostroenii"* [Proc. Int. Youth Conf. "Innovations in mechanical engineering"]. Tomsk, TPU publ., 2012, pp. 73–77.

- [7] Mal'kova L.D. Estimating power consumption for flat surface machining employing various milling techniques. *Inzhenernyy zhurnal: nauka i innovatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation], 2016, no. 12 (60). Available at: <http://engjournal.ru/catalog/mesc/tempp/1559.html> (accessed 14 December 2017).
- [8] Kosenko A.I. Sbornik metodicheskikh ukazaniy po predmetam: Rezanie materialov i Rezanie materialov i rezhushchiy instrument [Methodology instructions on courses: Materials cutting and Materials cutting and non-destructive tools]. Novgorod, Izd-vo NovGU, 2006, 140 p.
- [9] Dreval'A.E., Vasil'yev S.G., Vinogradov D.V., Mal'kov O.V. Measuring diagnostic stand for experimental researches in technology machining. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie* [Science and Education: Scientific Publication], 2014, no. 12, pp. 22–58. Available at: <http://technomag.bmstu.ru/doc/749286.html> (accessed 12 December 2017).
- [10] Shulyak Ya.I., Vasil'yev S.G. A modernized UDM-600 dynamometer-based setup for the cutting force measurement. *Mashiny i ustanovki: proektirovanie, razrabotka i ekspluatatsiya* [Machines and Plants: Design and Exploiting], 2016, no. 1. Available at: <http://maplants.elpub.ru/jour/article/view/33> (accessed 14 December 2017).

Malkova A.O. — student, Department of Tool Engineering and Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — Vasilev S.G., Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Tool Engineering and Technologies, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.