FRI-1.417-2-MEMBT-10

ANALYSIS OF SELECTED CONSTRUCTIVE SOLUTIONS OF 3D TOUCH TRIGGER PROBE ACCORDING TO THE CRITERION OF ACCURACY

Master Eng. Valentin Mihov, PhD student
Department Mechanical and Manufacturing Engineering,
University of Ruse "Angel Kanchev", Ruse, Bulgariya
Tel.:
E-mail: vmihov@uni-ruse.bg

Abstract: *In the engineering practice for solving certain control tasks, are used CNC machines, mainly milling machines, have to be used as coordinate - measuring machines. To carry out the measurements, is necessary the so-called 3D touch trigger probe (TTP) . In the publication are presented studies of the accuracy of different TTP. Among them, with the simplest construction, low cost and high propensity for manufacturing conditions, are the TTP operating by the kinematic resistance method. It is known that they generate a random and significant systematic error. The magnitude and fluctuation of the systematic error creates difficulties in the measurements on milling machines. The integration of additional sensors in the 3D touch trigger probe reduces the systematic error, but occur an additional bigger requirements to the operating conditions arise. In many cases, these requirements can not be executed measurements in work zone . Through the study has justified the need for a more appropriate 3D touch trigger probe for measurements in the work zone.*

Keywords: *Coordinate measuring, 3D trigger touch probe, Accuracy.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Характерен белег на значителен дял от машиностроителните фирми в Р България е, че тяхното производство не е основано на собствен продукт. Разчита се на разнообразни поръчки от различни възложители, т.е. производството може да се определи като широкономенклатурно средно и дребносерийно. Технологичните процеси при такива условия изискват използването като основно оборудане металорежещи машини (ММ) с ЦПУ. Ефективността от използването на такова оборудване се проявява не само при обработване на детайлите, а и за решаване на някои съпътстващи контролно-измервателни задачи. В такива случаи се е утвърдило ММ с ЦПУ да бъдат използвани като координатно-измервателни машини (Димитров Д., И. Георгиев 2015, Dimitrov D., 20015, Dimitrov, D., Karachorova, V., Szecsi, 12016). Това се отнася главно за фрезовите и за многооперационните машини от пробивно-фрезови тип с ЦПУ, известни като обработващи центри (ОЦ). За целта се създава измервателна система (Димитров, Д., 2007, Димитров Д.,В. Карачорова, 2012) за осъществяване на координатни измервания, включваща следните елементи: металорежеща машина с ЦПУ; измервателен преобразувател (датчик); интерфейс; измервателни програми. Точността на измерване с такава система зависи от големината на получаваната сумарна грешка $\varepsilon_{\Sigma изм}$ [Димитров Д., 2011, 2012, 2013), със следните три съставни: - Δ_{Σ} е систематичната постоянна грешка, g_{Σ} е систематичната закономерна грешка, а ω_{Σ} – полето на случайната грешка. Всяка от съставните, от своя страна, може да се разглежда като сума от аналогични по характер грешки, формирани от влиянието на всички елементи на системата за координатни измервания. [Dimitrov D, 2016, Dimitrov, D., Karachorova, V., Szecsi 2014, Dimitrov D., Karachorova V., Nenov G,2017, Dimitrov D., Geotgiev I.,Karachorova V., 2017)

В настоящото изследване са разгледани грешките, породени от измервателния преобразувател (датчика) за някои от най-разпространените в практиката модели.

ИЗЛОЖЕНИЕ

През последните няколко десетилетия в производствената пратика се е наложило да се използват за измервателни преобразуватели контактни датчици известни като трикоординатни измервателни глави (ТИГ) тип „тригер" или 3D touch trigger probe. Те имат проста и надеждна

конструкция и принцип на работа, основаващ се лостово – базираща система, с която се създава електрическа верига от последовтелно свързани, нормално затворени елетрически контакти, реализиращи логическото условие „И“. Такава конструкция и начин на работа е известна като кинематична съпротивителна схема (КСС). В сучая базиращата система има следните две основни функции: Първата е да осигури висока повторяемост на точността на базиране на лоста, а втората е свързана с повторяемотта при генериране на сигнал, в резултат на контакт при измерване.

Като основен показател за точността на такива ТИГ от водещите производители (Renishaw, Haidenhein, Blum и др.) се посочва т.нар. неточност при повторяемост на еднопосочно измерване. В рекламни проспекти и паспортни данни тя се представя чрез полето на случайната грешка с доверителен интервал $\omega_{ТИГ}=\pm\sigma=2\sigma$ и вероятност P=68.27% за попадане на измерената стойност в зададените граници и се посочват стойности от около 1 μm.

За практически цели, обаче е по-добре да се работи с доверителен интервал 6σ (±3σ) и съответна вероятност P=99.73%. В такъв случай следва, че за полето на грешката може да се запише:

$\omega_{ТИГ} = \pm3\sigma = 2.5\div3$ μm (при P=99.73%)

Освен със случайна грешка ТИГ участва в общата грешка при измерване също и със систематични съставни :

- систематична постоянна (ΔТИГ)
- систематична закономерна (gТИГ).

При това, по данни на производителите, потвърдени и от направени експериментални изследвания, ТИГ, работещи по принципа на кинематичната съпротивителна система, генерират значителна по стойност постоянна и закономерна грешка. По този проблем са открити множество публикации на учени, а и на производителите, в които се представят изследвания на ТИГ с кинематична съпротивителна система.

Проявлението на систематичните грешки при контактни измервания са причина за възникването на т.нар. зона на нечувствителност (мъртъв ход). Тя представлява изминатия път от ТИГ от момента на докосване на осезателя с измервания обект до момента на прекъсване на вътрешната контактна система и генериране на изходящ сигнал от главата. Дължи се на обстоятелството, че сигналът за измерване се генерира със закъснение спрямо момента на докосване.

Следователно за целите на измерванията и за осигуряване точността на ТИГ би било добре ако няма зона на нечувствителност. Или ако има такава, то тя да е породена само от систематична постоянна грешка (еднаква грешка във всичк**и** посоки) и да няма закономерна съставна. В пространството такава зона на нечувствителност би била със сферична форма, а при измерване в равнината XY, каквито са най-често измерванията върху обработващи центри, тя трябва да е с форма на окръжност. В действителност всички ТИГ, използващи КСС имат различни от идеалните характеристики. Така, например за модела на RENISHAW MP3 при използване на накрайник с дължина 50mm големината на зоната на нечувствителност при измервания в различни посоки на равнината XY е в порядъка на 7.5÷15μm. Като резутат от големината и непостоянството на мъртвия ход се усложняват координатните измервания и се намалява точността им поради внасянето на значителен по големина дял в общата неопределеност на измерването.

Един от възможните изходи за преодоляване на проблемите, произтичащи от наличието на мъртъв ход е чрез прилагане на т.нар. калибриране. По този начин могат да се въведат компенсации на мъртвия ход при получаване на резултата от измерването, но недостатък на подхода е, че е необходимо да са предварително известни очакваните посоки на измерванията. Друг недостатък (при по-старите поколения на системите за ЦПУ) са ограничените възможности на системата за ЦПУ да съхранява голям брой данни за компенсация. Необходимо е да се отчете и разходът на време за чести калибрирания.

Много производители на ТИГ са насочили своите усилия за намиране на решение на проблема чрез свои конструктивни решения, използващи и разчитащи на друг принцип на генериране на измервателен сигнал от ТИГ при контакт на накрайника с измервания обект.

Известни са конструкции на измервателни глави, работещи вместо с кинематично – съпротивителна система за генериране на сигнала с вграден тензодатчик в лостовата им система. При това решение се използва свойството на тензодатчиците да променят електросъпротивлението си при деформация. Те се закрепват на подходящи места в базиращата система и са съставна част от генериращата управляващ сигнал ел. верига на ТИГ. Май-често във вътрешността на измервателната глава са монтирани четири тензодатчика. Три датчика са предвидени по един за всяка от осите на преместване X, Y и Z. Четвъртият е за осъществяване на габаритен контрол на ТИГ и за компенсиране на евентуално възникващите топлинни деформации. Такова е изпълнението в конструкцията на RENISHAW T93M (Каталог 2007-2010). В резултат от въвеждането на тензодатчик при измервани в равнината XY се постига намаляване на колебанието на силата при измерване във всички посоки и намаляване на систематичната закономерна на грешката при измерване с около десет пъти.

Работата по този принцип, обаче, изисква няколко пъти по-голяма стойност на измервателната сила в сравнение с необходимата за работа с кинематично съпротивителна система за да е надеждно генерирането на сигнал от тензодатчика. В някои случаи на измервания това е проблем, тъй като необходимостта от голяма измервателна сила води и до съществено натоварване на накрайника и измервания обект, дори и след минимално подминаване на точката на контакт (в равнината XY - 0.94N, и за Z – 11.93N).

Друг недостатък на тази реализация е, че негативно влияние на точността оказва колебанието на температурата на средата, водещо до изменение на електросъпротивителните характеристики на тензодатчиците.

В други конструкции на различните производители се използва свойството на пиезокристалите да генерират електрическо напрежение, когато са подложени на механично въздействие. Съответно измервателната глава с вградени пиезосензори може да регистрира механичните сигнали, генерирани, когато опипвача на накрайника докосва детайла с достатъчно голямо измервателно усилие, което предизвиква деформации в пиезокристала. По данни на RENISHAW за модел TP940 с вградени пиезосензори се постига грешка не по-голяма от 0.5μm.

Трябва да се очете, че освен с високата си точност ТИГ с пиезосензори се характеризират и с някои съпътстващи ги проблеми по отношение на надеждността на измервеанията, дължаща се на това, че при използването им на обработващи машини с ЦПУ поради увеличената чувствителност на пиезодатчика смущенията, характерни за работната зона на машината предизвикват генериране на лъжлив измервателен сигнал.

Освен това необходимостта от малък диаметър на сферичния осезател в съчетание с голямата измервателна сила влияе негативно върху големината на възникващите контактни деформации на измерваната повърхнина, които могат да бъдат различни, в някои случаи значителни и, както е известно, зависят от твърдостта й.

Някои от производителите на измервателни глави използват за подобряване на точността чувствителна оптична система, която реагира на минимални деформации в лостовата система.

При тази конструкция за генериране на измервателен сигнал в такива ТИГ се използват различни видове фоточувствителни елементи и прецизни оптични системи, които могат да регистрират минимални механични премествания.

Чрез качественно нови оптоелектронни елементи в моделите TC94/94, според производителя BLUM, се осигуряват сравнително постоянни стойности на мъртвия ход при измервания с докосвания във всички посоки на равнината XY.

ИЗВОДИ

В заключение може да се обобщи, че за разгледаните конструкции се използва една и съща базираща система. За постигането на по-високи точностни характеристики на ТИГ е избран подход за замяна на сигнала от класическата електроконтактна базираща система със сигнал, който да се генерира от друг източник. От представените характеристики става ясно, че грешките на разгледаните конструкции все пак намаляват, особено мъртвия ход..

Освен безспорно постигнатите положителни резултати от направените подобрения трябва да се отчете и възникването на някои проблеми, недостатъци и ограничения като посъществените са:

- налагане на по-големи ограничения за допустими вибрации;
- стеснени граници за допустими работни температури в зоната на измерване;
- изискване за твърдост на заготовката поради високи стойности на силата в периода на контакт и при задминаването след измерването;
- по-ниска устойчивост и защита на импулсни натоварвания
- по-малък гарантиран период за експлоатация и др.
- актуалните пазарни цени на модели с допълнителни системи са около три пъти по-високи в сравнение с тези на ТИГ с КСС

Въз основа на направеното изследване може да се заключи, че изброените особености, преимущества и ограничения на цитираните модели ТИГ ги правят по-подходящи за използване на координатно-измервателни машини, но не и за масово приложение в производствените условия на обработващи центри.

REFERENCES

Dimitrov, D., (2007). *Trikoordinatna izmervatelna glava*, Mezhdunarodna nauchna konferentsiya AMTECH-07, Gabrovo, 223-226 (**Оригинално заглавие:** Димитров, Д.*, (2007). Трикоординатна измервателна глава,* Международна научна конференция AMTECH-07, Габрово, 223-226)

Dimitrov D., (2011). Statichen silov analiz na trikoordinatna izmervatelna glava., Mashinostroene i mashinoznanie, broy 13, str. 49-51, ISSN 1312-8612 (**Оригинално заглавие:** Димитров Д., (2011). *Статичен силов анализ на трикоординатна измервателна глава.,* Машиностроене и машинознание, брой 13, 49-51, ISSN 1312-8612)

Dimitrov D.,V. Karachorova. (2012). *Niskobyudzhetna sistema za upravlenie na parametri ot tochnostta i nadezhdnostta pri obrabotvashti tsentri*, NK na RU i SU - 2012, Ruse,Mehanika i mashinostroitelni tehnologii, 93-98 (**Оригинално заглавие:** Димитров Д.,В. Карачорова. (2012). *Нискобюджетна система за управление на параметри от точността и надеждността при обработващи центри*,НКнаРУиСУ-2012,Русе,Механика и машиностроит. технологии, 93-98)

Dimitrov D.,V. Karachorova. (2012) *Izsledvane na sluchaynata greshka pri ednomerno i dvumerno pozitsionirane na obrabotvasht tsentar*, NK na RU i SU - 2012, Ruse , Mehanika i mashinostroitelni tehnologii, Ruse, 2012,109-113 (**Оригинално заглавие:** Димитров Д.,В. Карачорова. (2012). Изследване на случайната грешка при едномерно и двумерно позициониране на обработващ център, НК на РУ и СУ - 2012, Русе , Механика и машиностроителни технологии,109-113)

Dimitrov D., (2013). *Eksperimentalno izsledvane vliyanieto na toplinnite deformatsii varhu tochnostta na ustanovyavane na konusen instrumentalen darzhach ISO40 vav vretenoto*, Nauchna konferentsiya - RU&SU'13 v Balgariya, Mehanika i mashinostroitelni tehnologii, Ruse, str.57-60 (**Оригинално заглавие:** Димитров Д., (2013) *Експериментално изследване влиянието на топлинните деформации върху точността на установяване на конусен инструментален държач ISO40 във вретеното*, Научна конференция - РУ&СУ'13 в България,Механика и машиностроителни технологии, 57-60)

Dimitrov D., (2013). *Eksperimentalno ustanovyavane na statichnata greshka na sledyashti prevodi s indirektna obratna vrazka v ravninata*. Nauchna konferentsiya - RU&SU'13 v Balgariya, Mehanika i mashinostroitelni tehnologii,52-56 (**Оригинално заглавие:**Димитров Д., (2013). *Експериментално установяване на статичната грешка на следящи преводи с индиректна обратна връзка в равнината*. Научна конференция - РУ&СУ'13 в България, Механика и машиностроителни технологии, стр.52-56)

Dimitrov D,.N. Malchev.(2015). *Unifikatsiya na tehnologichnite protsesi pri shiroka nomenklatura na proizvodstvoto na edrogabaritni tankostenni detayli*. Nauchna konferentsiya -

RU&SU'15,Ruse,179-183(**Оригиналнозаглавие:**Димитров,Д.,.Н.Малчев.(2015) *Уни-фикация на технологичните процеси при широка номенклатура на производството на едрогабаритни тънкостенни детайли*. Научна конференция - РУ&СУ'15, Русе, 179-183)

Dimitrov D., I. Georgiev.(2015). *Razrabotvane na kontseptsiya na metalorezheshta mashina za obrabotvane na tankostenni edrogabaritni detayli*, auchna konferentsiya - RU&SU'15 vBalgariya,Ruse,171-174(**Оригинално заглавие:**Димитров Д., И. Георгиев. (2015)*Разработване на концепция на металорежеща машина за обработване на тънкостенни едрогабаритни детайли*,Научна конференция - РУ&СУ'15, 2015, 171-174)

Dimitrov D., T. Szecsi. (2015) *Machining accuracy on CNC lathes under the lack of unity of the process and design data*. IN: Proceedings of the 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Ischia, Italy, Procedia CIRP41 CMS 2015, 2016, pp. 824-828

Dimitrov D. (2016) *COMPENSATION OF SYSTEMATIC ERRORS OF 3D TOUCH PROBE USING A TOUCH SIGNAL*.// International Journal - Institute of Knowledge Management, 2016, No 13.1, pp. 349-354, ISSN 1857-92

Dimitrov D. (2016) *ANALYSIS OF ACCURACY OF COORDINATE MEASUREMENTS WITH 3D TOUCH PROBE OF MACHINING CENTERS*.// International Journal - Institute of Knowledge Management, 2016, No 13.1, pp. 321-326, ISSN 1857-92.

Dimitrov, D., Karachorova, V., Szecsi, T.(2014). *Accuracy and reliability control of machining operations on machining centres*.// Key Engineering Materials, 2014, No Volume 615, pp. 32-38, ISSN 1013-9826

Dimitrov D. (2016). *AUTOMATIC SELECTION OF PROCESING WITH LESS ERROR IN THE POSITIONING OF MACHNINIG CENTERS*.// International Journal - Institute of Knowledge Management, 2016, No 13.1, pp. 327-332, ISSN 1857-92.

Dimitrov D., Karachorova V., Nenov G., (2017) *Research the possibilities of the method for determining the Tolerances in geometric precision of machining center*, International journal for sciense, technics and innovations for the industrtry, 2017, брой 3, стр. 118-120, ISSN PRINT1313-026, ISSN WEB 1314-507X.

Dimitrov D., Geotgiev I.,Karachorova V., (2017) *Method for technology process control of alignment to machining center with two spindles*, International journal for sciense, technics and innovations for the industrtry, 2017, брой 4, стр. 174-177, ISSN WEB 1314-507X

Dimitrov D., Malchev N.,Karachorova V.,(2017) *Research the accuracy of the group approach for rapid determination cost of the machining product*, International journal for sciense, technics and innovations for the industrtry,2017,бр.3,стр.121-122, ISSN WEB 1314-507X.

RENISHAW, Touch-trigger probing technology Catalog, 2007;

Renishaw: Probing systems for coordinate measuring machines, Renishaw plc, UK 1996.

Tool Setting Probes https://www.blum-novotest.com/en/products/measuring-components/tool-setting-probes.html

Touch-trigger probes http://www.renishaw.com/en/tp7m--7379