Стратегия при калибриране на трикоординатна измервателна глава с равномерна характеристика

Димитър Димитров

Abstract:Calibration strategy of 3D touch probe with uniform characteristic. *It can apply simple calibration at coordinate measurements on machining centers with 3D touch probe and even area of insensitive.*

Key words: *measurement of random error, accuracy.*

Състояние на въпроса

При осъществяване на координатни измервания върху обработващ център (ОЦ) за осъществяване на измервателно въздействие спрямо измервания обект се използва контактна, трикоординатна измервателна глава (ТИГ - 3D Touch Probe) със сферична форма при върха на измервателния накрайник. Най-разпространени поради своята по-ниска цена и висока надеждност са ТИГ, работещи с т.нар. кинематична съпротивителна система (напр. RENISHAW MP3). Характерна особеност и недостатък на тези ТИГ е възникването на променлива зона на нечувствителност при измерване в равнината XY (нормално спрямо оста на накрайника). Зоната на нечувствителност се определя с изминатия път от ТИГ от момента на докосване на измервания обект до генериране на измервателн сигнал. Освен, че е променлива по големина зоната на нечувствителност е и нееднаква при срещуположни измервания. Разликите могат да достигат съотношение в порядъка на 1:2. Това създава неопределеност и компрометира точността при такива измервания, каквито са измерванията на канал, ребро, четириточково измерване на отвор и др. А това са голяма част от измервателните задачи, възникващи при координатни измервания върху ОЦ. Едно от известните възможни решения на проблема е прилагането на калибриране за установяване конкертните стойности на зоната на нечувствителност в очакваните посоки на измерване. При използване на накрайник със сферичен връх отчитането на установената зона на нечувствителност се осъществява чрез въвеждане на т.нар. условен радиус $R_{усл}$ на сферата на измервателния накрайник, който се намалява спрямо действителния $R_{сф}$ със стойността ΔR на зоната на нечувствителност:

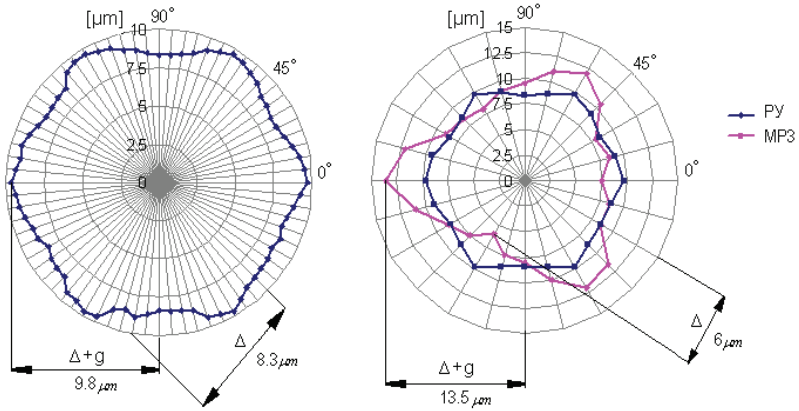
$R_{усл.} = R_{сф} - \Delta R$

Недостатък при прилагане на такъв подход е ограничението и условието посоките на предстоящите измервания да са винаги предварително точно определени и калибрирани, т.е да се установят конкретните стойности $R_{усл.i}$ за всяка посока.

Оценка на точността при срещуположни измервания в равнината 0XY с ТИГ РУ

Разработената от автора конструкция на измервателна глава (ТИГ РУ) в лабораторията по „Обработване на детайли върху машини с ЦПУ" към Русенски университет притежава четири пъти по-малки разлики в зоната на нечувствителност в сравнение със съответните на MP3. Това се установява от сравнението на кръглограмите, показани на фиг.1. Те са построени по данни от проведени аналогични експерименти с ТИГ РУ и RENISHAW MP3 в равнината XY. Всяка точка от графиките представлява изчислената средна стойност от 10 повторения на измерванията, изпълнени с един и същ измервателен накрайник (дължина 50mm) със стоманено стебло. С Δ е означена големината на съответната постоянна грешка, а с g+Δ сумата й със закономерната g. От графиката на ТИГ РУ може да се пресметне, че големината на закономерна грешка е в порядъка на 1,5μm в граници

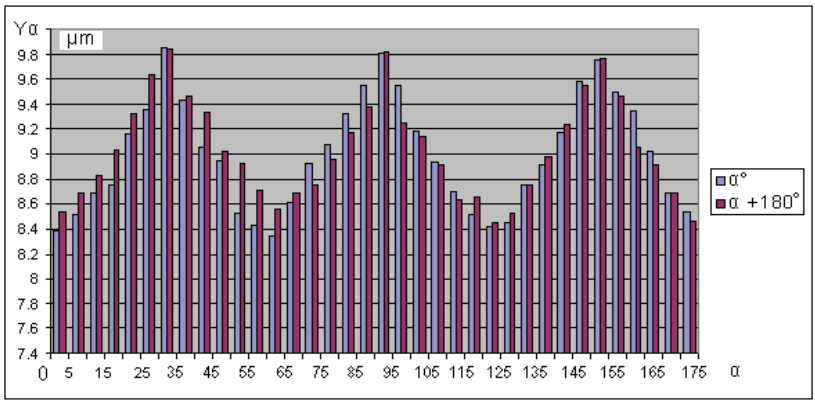
±0,75μm. Периодът на изменение на g в равнината XY е π/3, следователно зоната на нечувствителност ще има (2π)/(π/3)=6 (шест) двойки екстремуми (максимум и минимум).



а) б)

Фиг.1. Зона на нечувствителност в равнината XY на а) - ТИГ РУ; б) - МРЗ

Въз основа на получената периодична форма на изменение на зоната на нечувствителност с четна 6-кратност на ТИГ РУ може да се предположи, че всяка двойка срещуположно разположени точки от характеристиката имат симетрична стойност на големината на зоната на нечувствителност. В следствие на това може да се допусне, че при срещуположни измервания, в зависимост от точността им, може да се използва една и съща корекционна стойност на зоната на нечувствителност. За проверка на това предположение е необходимо да се направи оценка на точността им като се определи каква може да бъде очакваната неопределеност. На фиг.2 са представени графично данните от получените експериментални стойности от фиг. 1,а) за зоната на нечувствителност на ТИГ РУ, като в случая те са комбинирани по двойки срещуположни точки на измерване.



Фиг.2. Зона на нечувствителност на ТИГ РУ в срещуположни точки

За оценка на неопределеността $U_{\alpha,\alpha+180}$ при срещуположни измервания са изчислени:

1) Абсолютните разлики между зоните на нечувствителност на всяка двойка срещуположни точки:

$$\Delta_{i,Y,\alpha} = \left| Y_{\alpha} - Y_{\alpha+180} \right|$$

2) Средната стойност от разликите на всички n двойки срещуположни точки, в случая n=36:

$$\overline{\Delta} = \frac{\Sigma \Delta_{i,Y,\alpha}}{n} = 0{,}1 \mu m$$

3) Средноквадратичната неопределеност на средните стойности:

$$u_{S_\Delta}(\Delta) = S_\Delta = \sqrt{\frac{\Sigma(\Delta_i - \overline{\Delta})^2}{n-1}} = 0{,}1 \mu m$$

Където: Y_α е средноаритметична стойност на зоната на нечувствителност в определена точка (ъгъл α);

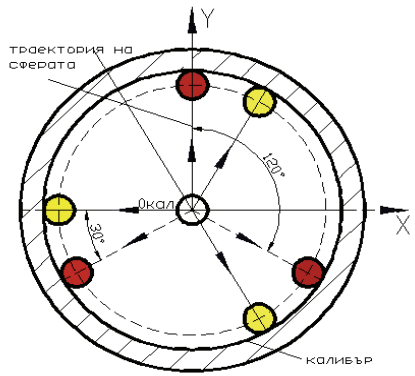
$Y_{\alpha+180}$ – средноаритметична стойност на зоната на нечувствителност в срещуположната точка.

Следователно неопределеността при срещуположни измервания ще се формира от средната разлика между нечувствителността в две срещуположни измервания, която е 0.1μm, и доверителния интервал при вероятност 99,73% , който е ±0,3 μm при съответния коефициент на покриване:

$U_{\alpha,\alpha+180}$ = 0,1±0,3 μm

Стратегии при калибриране на ТИГ РУ

Отчетените сравнително малки колебания (±0,75μm) в зоната на нечувствителност на ТИГ РУ и срещуположната й симетричност (0,1±0,3 μm) поради благоприятната характеристика на ТИГ са достатъчно основание за прилагане в някои случаи на опростени и икономични стратегии при калибриране. Калибрирането може да се прилага в два двустепенни варианта. Първата степен, наречена настройване, е обща за всеки от двата варианта. Целта му е да се определят координатите на центъра на сферата и дължината по оста на измервателния комплект (ТИГ плюс инструментален държач) чрез контролни измервания на работен калибър с цилиндричен отвор и перпендикулярно чело [].



Фиг.3. Схема за определяне средна стойност на зоната на нечувствителност

Първият вариант на калибриране е подходящ, когато за осигуряване на точността на измерване е удовлетворяващо да се използва средната големина на зоната на нечувствителност. Тя може да се определи, съгласно схемата на фиг.3, с минимален брой измервания като се приложи двустепенно калибриране. Резултатите от такова калибриране сигуряват с минимален брой измервания необходимите данни за пресмятане с приемлива грешка на средната стойност на зоната на нечувствителност. За осъществяване на този вариант е необходима ъглова ориентация на ТИГ. От фигурата се вижда,че се осъществява калибриране на две групи точки. Първата група е триточково калибриране с период

2π/3 (фиг.3 – в червен цвят) и се изпълнява, така че да съвпада с три максимума (през един от всичките шест) или с три минимума от шестте в характеристиката на зоната на нечувствителност на ТИГ. Втората група е също триточково калибриране както първото, но е отместено спрямо него на ъгъл 30º (π/6), (фиг.3 – в зелен цвят). Следователно то ще се осъществява спрямо първото по противоположните му екстремуми (съответно по три минимума или пък по три максимума, фиг.1а).

Средната стойност на зоната на нечувствителност се отчита чрез изчисляване на средния условен радиус на сферичния осезател по зависимостта:

$$\overline{R}_{усл.} = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} = \frac{R_{усл.1,1} + R_{усл.1,2} + R_{усл.1,3} + R_{усл.2,1} + R_{усл.2,2} + R_{усл.2,3}}{6}$$

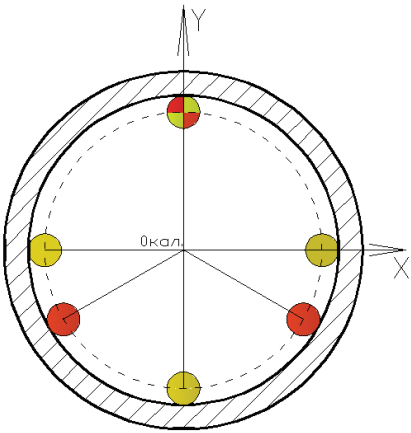
Където: $R_{усл.i,j} = R_{сф} - \Delta R_{i,j}$ са конкретно получените стойности при калибриране с отчитане на съответните стойности $\Delta R_{i,j}$ от зоната на нечувствителност.

След това при осъществяване на всички КИ в равнината XY за пресмятанията се използва една и съща стойност на условния радиус $\overline{R}_{усл}$. Тя представлява непоправена стойност $R_{усл}$ при едноточково измерване понеже не отчита влиянието на закономерното изменение на зоната на нечувствителност. Допуската грешка от това би била в границите на не повече от ±7% или при конкретния случай ±0,75μm.

При срещуположни измервания освен грешката от непоправената стойност при измерването следва да се отчете и неопределеност (внасяна от това, че се ползва еднаква стойност за зоната на нечувствителност), която би се получила:

$\overline{R}_{усл} + U_{\alpha,\alpha+180} = 0{,}1 \pm 0{,}3$ μm

Основното предимство на първия вариант е универсалността му за измервания във всички посоки на равнината XY, а недостатък описаната по-горе неопределеност.



Фиг.4. Калибриране на шест работни точки

Вторият вариант (фиг.4) е подходящ за повечето типични измервателни задачи, осъществявани на обработващи центри. При него, в зависимост от посоката на измерване, се ползват шест калибрирани посоки на измерване, т.е. работи се с шест конкретни стойности за условния радиус. Три от точките отново са екстремуми от зоната на нечувствителност (напр. максимуми) и са с период 2π/3, като една от тях съвпада с положителната посока на ос (напр. с +Y) от координатната система OXY. Другите три точки съвпадат с останалите посоки (+X, -X, -Y) на въведената координатна система. Получените резултати при калибрането са достатъчни за измерване на цилиндрични отвори по три или четири точки, както и за всички типични измервания върху ОЦ, които са по направление на двете оси X и Y.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледан е подход, който чрез прилагане на опростено и икономично двустепенно калибриране на ТИГ РУ осигурява:

- въвеждане на подходяща условна точка за управление на измервания по програма;
- възможност за работа със средна стойност на зоната на нечувствителност на ТИГ РУ в равнината XY;
- минимален брой калибрирания на ТИГ РУ, необходими за решаване на повечето измервателни задачи върху обработващите центри.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Димитров Д. Трикоординатна измервателна глава. В: Международна научна конференция AMTECH-07, стр. с.223-226, Габрово, 2007.

[2] Димитров Д., Св. Колева, М. Енчев, В. Карачорова. Компенсиране на систематичните грешки на трикоординатна измервателна глава чрез тариране –. В: НК на РУ и СУ, Русе, 2011

[3] Замфиров И., и др. Разработване и изследване на нова конструкция трикоординатна измервателна глава за машини с ЦПУ, Отчет на ПРОЕКТ ФНИ 2008 – МТФ – 04 на РУ "А. Кънчев"

[4] Карачорова В., Изследване на точността при координатни измервания на обработващи центри, СНС12 на РУ, 2012

[5] Balazinski M., Czogala E., Mayer R., Shen Y.: Pre-travel compensation of kinematic touch trigger probes using fuzzy decision support system. Proc. of 7th International Fuzzy System Association (IFSA) World Congress, pp.339-344, June 25-29, 1997, Prague, Poland 7th

[6] Mayer, J.R.R., «Systematic Errors Due to Kinematic Touch Trigger Probes», 1st Annual General Meeting of the Association for Coordinate Metrology Canada, 2-3 November 1995, Oshawa, Ontario

[7] Mayer, J.R.R., Ghazzar A., and Rossy O., 1996, «3D Characterisation, modelling and compensation of the pre-travel of a kinematic touch trigger probe», Measurement, Journal of the International Measurement Confederation IMEKO, Elsevier Science. Vol. 19, no 2, pages 83-94

[8] HEIDENHAIN, General Catalog, Touch Probes for Machine Tools, 2007, 2010

[9] RENISHAW, Touch-trigger probing technology Catalog, 2007

[10] Renishaw: Probing systems for coordinate measuring machines, Renishaw plc, United Kingdom, 1996.

[11] Sokovic M.,M. Cedilnik, J. Copac Identifikation of scannig errors using touch trigger probe head Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering Volume 20, ISSUES 1-2 January-February 2007

[12] Woźniak A., Dobosz M.: Research on hysteresis of triggering probes applied in coordinate`e measuringmachines. Metrology and Measurement Systems, vol. XII, no. 4, 2005, pp. 393-413.

За контакти:

гл.ас. Димитър Димитров, Катедра "ТММРМ" РУ"Ангел Кънчев",ddimitrov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран