

## Компенсирание на систематичните грешки на трикоординатна измервателна глава чрез тариране

Димитър Димитров, Светлана Йорданова  
Милко Енчев, Виктория Карачорова

**Abstract:** *Compensation of systematic errors on 3D touch probe. An approach for determining size on the total systematic error of 3D touch probe is presented.*

**Key words:** *3D touch probe, systematic error*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Най-разпространено и наложило се в практиката средство за осъществяване на координатни измервания върху металорежещи машини с ЦПУ са дискретните, контактни, трикоординатни измервателни глави (ТИГ). Начинът им на работа се основава на това да се генерира сигнал за измерване при прекъсване на вътрешна електрическа верига в резултат от прилагането на достатъчно голяма сила върху измервателния накрайник на ТИГ и е известен като принцип на кинематичната съпротивителна система. Основен недостатък на този тип измервателни глави, дължащ се на конструкционните им особености е възникването на нееднаква сумарна грешка ( $\epsilon_{\Sigma}$ ) при измерване известна като „мъртъв ход“. Грешката се измерва с изминатия път от измервателната система и ТИГ от момента на докосване на накрайника с измерваната повърхнина до момента на генериране на сигнал за измерване. Мъртвият ход включва като съставни компоненти случайна грешка ( $\omega$ ), систематична постоянна ( $\Delta$ ) и систематична законопроменлива грешка ( $g$ ).

За измервателни глави, работещи на този принцип по данни на производителите [1,2,3] BLUM, HEIDENHAIN, RENISHAW и др. големините на тези грешки съответно са в границите на:

$$\Delta = 4 \div 8 \mu\text{m} ; g = 4 \div 20 \mu\text{m} ; \omega = 1 \div 4 \mu\text{m} \quad (1)$$

Отчитайки начина на възникване и влияние на постоянната грешка върху точността на ТИГ може да се приеме, че след установяване на характеристиките ѝ съществуват възможности тя да бъде изключена.

Следователно основен проблем при измерване с ТИГ са компонентите на случайната грешка и на систематичната закономерна грешка. Цел на настоящата публикация е да представи една практическа възможност за определяне на систематичните грешки на ТИГ.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Случайната грешка възниква в зоните на допирание между подвижния и неподвижния базов елемент на ТИГ и се дължи на грапавостта на повърхнините, големината на контактните напрежения, на преходните състояния при преминаване от състояние на покой към движение и обратно, а също и на различните коефициенти на триене при покой, плъзгане и търкаляне. При дадените физико-механични характеристики и качество на контактуващите повърхнини на базовите детайли на ТИГ, конструктивните им особености и условия на контакт единствена възможност за намаляване на случайната грешка е чрез прилагане на многократни повторения на измерванията.

Най-големи стойности на мъртвия ход и най-голямото му изменение се наблюдават при измервания в равнината XY. А възникващата закономерната грешка (с периодичен закон на изменение в равнината XY с период  $2/3\pi$ ) се дължи на

променливите предавателни отношения в лостовия механизъм на конструкцията на ТИГ.

Тъй като измервания върху обработващите центри се извършват основно в равнината XY от значение за точността е възникващата грешка именно в тази равнина. Възможностите за ограничаване на влиянието ѝ се свеждат до:

1. Установяване на големината и посоката на грешката с последващо нейно отчитане или компенсиране.

2. Намаляване на големината на грешката.

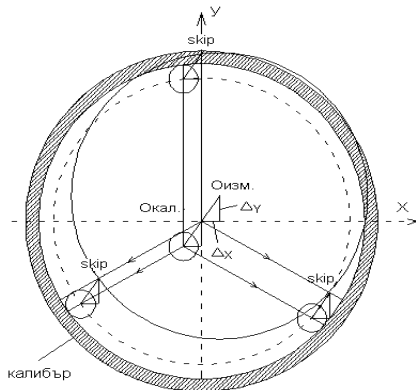
3. Изключване проявлението на грешката.

Задачата по определяне на големината и посоката на систематичната закономерна грешка с последващо отчитане може да се реши чрез подходящо, предварително калибриране и тариране. Калибрирането се изразява в това да се установи несъосността на т.нар. условната работна точка на измервателния крайник на ТИГ, а чрез тариране се установява големината на мъртвия ход в определена посока (работна точка) при измерване на контролна повърхнина (калибър) в съответната посока (работна точка). Трябва да се отбележи, че в случая с тариране за тази точка се определя сумарната стойност ( $\varepsilon_{\Sigma}$ ) от случайната ( $\omega$ ), постоянната ( $\Delta$ ) и закономерната систематична грешка ( $g$ ):

$$\varepsilon_{\Sigma} = \Delta + g \pm \frac{1}{2} \omega \quad (2)$$

За да се намали влиянието на случайната грешка са необходими повторения на измерванията. И тъй като полето на случайната грешка по начало е значително по-малко ( $\omega \approx 2-3 \mu\text{m}$ ) от големината на другите съставни достатъчни са петкратни измервания за да бъде прието, че нейното значение за големината на мъртвия ход е пренебрежимо малко, т.е. тя може да бъде изключена в горната зависимост:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \Delta + g \quad (3)$$



Фиг 1. Калибриране на сферичен крайник на ТИГ.

При определяне на мъртвия ход на ТИГ в равнината XY за калибър е подходяща повърхнина с цилиндрична форма, а за определяне на мъртвия ход в пространството – калибър със сферична форма.

С помощта на подходящ алгоритъм тази процедура се осъществява върху самата МРМ с ЦПУ. Така се осигурява възможност за разкриване и ограничаване и на други грешки, проявяващи се при измерване със системата за координатни измервания.

Използвайки възможностите на езика MACRO за системи с ЦПУ - FANUC 6 са разработени управляващи NC-MACRO програми, с които в автоматичен режим се осъществяват двете предвидени за целта процедури за определяне на мъртвия ход в равнината XY.

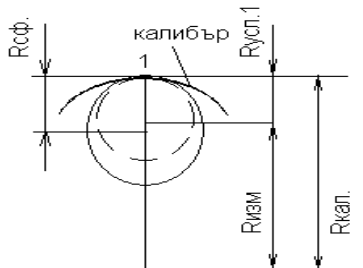
Първият етап, наречен "KALIBRIRANE" е задължителен след всяка смяна на измервателния крайник и е разработен за крайник със сферична форма на осезателя. В този етап се извършва измерване на дължината на измервателния крайник по направление по ос Z т.е. установява се стойността на т.нар. сумарна "корекция по дължина" на измервателната глава заедно с конкретен крайник. А след координатно измерване в три точки в равнината XY на окръжност (калибъра) се пресмята разликата между изчислените, усреднени координати на калибъра ( $\bar{X}_{изм.}, \bar{Y}_{изм.}$ ) и зададените ( $X_{кал.}, Y_{кал.}$ ). Полученият резултат представлява несъосността  $\Delta_X$  и  $\Delta_Y$  по всяка координатна ос между осите на крайника и вретеното на машината:

$$\Delta_X = \bar{X}_{изм.} - X_{кал.} \quad (4)$$

$$\Delta_Y = \bar{Y}_{изм.} - Y_{кал.} \quad (5)$$

Горните стойности се записват в корекционните регистри на машината и се вземат предвид при измерванията.

В следващия етап, определен като "TARIRANE" на измервателната глава се установява сумарният мъртъв ход в равнината XY за всяка от до пет (практически достатъчни на брой) избрани работни точки (посоки) от сферата на крайника, с които предстои да се осъществяват измервания. Като резултат за всяка точка се получава т.нар. условен радиус на сферата (фиг.2), който представлява разлика между действителния ( $R_{кал.}$ ) и измерения радиус ( $R_{изм.}$ ) на окръжността на калибъра.



Фиг.2 Тарирание – определяне на  $R_{усл.1}$ .

$$R_{усл.} = D_{кал.}/2 - D_{изм.}/2 = R_{кал.} - R_{изм.} \quad (6)$$

Поради мъртвия ход изчисленият във всяка точка условен радиус ( $R_{усл.}$ ) винаги е по-малък от действителният радиус на сферата ( $R_{сф.}$ ).

$$R_{усл.} < R_{сф.} \quad (7)$$

При последващи координатни измервания в пресмятанятия на координатите и размерите на повърхнините вече участва определения условен радиус  $R_{усл.}$ . При едноточково измерване (координата) действителната стойност  $L_{действ.}$  се получава по следната зависимост:

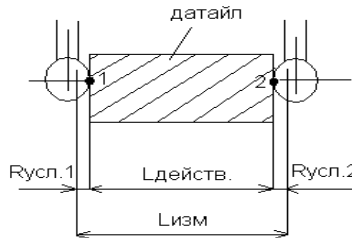
$$L_{действ.} = L_{изм.} + R_{усл.1} \quad (8)$$

където:

$L_{изм.}$  – е измерената координата (позиция);

$R_{усл.1}$  – е предварително определеният чрез тариране условен радиус на накрайника за същата работна точка на измерване.

Съответно за линеен размер (фиг.3), изискващ двуточково измерване



Фиг.3 Измерване на линеен размер

зависимостта за пресмятане на размера има вида:

$$L_{действ.} = \Delta L_{изм.} + R_{усл.1} + R_{усл.2} \quad (9)$$

където:

$\Delta L_{изм.} = L_{изм.1} - L_{изм.2}$  – е разликата от измерените в двете точки координати;

$R_{усл.1}$  и  $R_{усл.2}$  са предварително определените чрез тариране условни радиуси на накрайника за същите точки на измерване.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разгледаният подход чрез калибриране и тариране на ТИГ осигурява:

- въвеждане на подходяща условна точка за управление на измервания по програма;
- определяне на сумарната систематична грешка на ТИГ за ограничен брой избрани работни точки (посоки);
- възможност за определяне на общата сума от систематичните грешки на системата за координатни измервания в избрана работна точка (посока).

### ЛИТЕРАТУРА

- [1] BLUM, Probe Catalog 2009;
- [2] HEIDENHAIN, General Catalog, November 2010;
- [3] RENISHAW, Touch-trigger probing technology Catalog 2010;

### За контакти:

гл.ас. Димитър Димитров, катедра "ТММРМ" РУ"А. Кънчев" - Русе, email: [ddimitrov@uni-ruse.bg](mailto:ddimitrov@uni-ruse.bg)  
инж.Виктория Карачорова, email: [vickie\\_best@abv.bg](mailto:vickie_best@abv.bg)

Докладът е рецензиран