

Изследване на случайната грешка при едномерно и двумерно позициониране на обработващ център

Димитър Димитров, Виктория Карачорова

Abstract: *Investigation of random error in one-dimensional and two-dimensional positioning of the machining center. Positioning errors of the spindle of CNC machines influences the accuracy of processing and the accuracy of coordinate measurements. Theoretical and experimental error was investigated at one-dimensional and two-dimensional positioning of the machining center.*

Key words: *accuracy of positioning, coordinate measurements.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Случайната грешка от позициониране е елемент от нормите за геометрична точност на подавателните преводи на металоорежещата машина (ММ) с цифрово програмно управление (ЦПУ) [6]. Понятието грешка на позициониране се описва с отклонението между програмираното и действителното положение на супорта. Грешката възниква поради невъзможността на подавателния превод да изпълни с абсолютна точност зададената команда за позициониране. Това се дължи основно на вибрациите и на променливите условия на триене при плъзгане и покой в направляващите, възникващи в граничните режими при преминаване през състояние на движение-покой-движение. Явлението е типично за подавателните преводи на ММ с плъзгащи направляващи в заключителния етап при изпълняване на команда за позициониране. В резултат изпълнителният елемент на машината заема случайни положения, спрямо зададената позиция, в поле с нормален закон на разпределение. Случайната грешка от позициониране при обработване на детайла оказва влияние на точността на получаваните размери на повърхнините, на тяхното взаимно разположение и форма. При координатно измерване в сумарната грешка участва грешката при отчитане на позицията, но поради липса на данни и затруднения да бъде установена, със запас от точност се заменя с грешката от позициониране [4]. Поради изменението на последната във времето (в резултат на експлоатацията) за големината ѝ не може да се разчита на паспортните данни на машинат, а на актуално определяне чрез експериментално изследване.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СЛУЧАЙНАТА ГРЕШКА ПРИ ПОЗИЦИОНИРАНЕ

Случайната грешка от позициониране по стандарт се определя за точка при едностранно или двустранно позициониране към нея или за дължината на целия работен ход в поредица от точки, разделящи го на интервали. Често като елемент на техническите характеристики на дадена машина се привежда обобщената стойност на тази грешка. За нейното опитно установяване могат да се използват различни методи и измервателни средства. В случая експериментално е определена случайната грешка при едностранно позициониране в точка по ос Z на два броя обработващи центри (ОЦ) MC032, като първият е с около два пъти по-голям брой работни часове. В качеството на външно контролно-измервателно средство е използван прецизен фоторастерен измервателен уред HAIDENHEIN с константа 0,1µm. Схемата на опитната установка е показана на фиг.1. С помощта на магнитна стойка уредът е закрепен към корпуса на машината, така че измервателният накрайник да бъде успореден на оста на вретеното и да допира в челото му. Измерването е относително като при първото измерване показанието на отчитащото устройство се настройва на положение нула (занулява се). При следващите измервания отчитанията се осъществяват спрямо въведената относителна нула. Извършват се петдесет опита. За статистическо обработване на резултатите се

използват зависимостите, съгласно БДС [5], и [6,7], чрез които са пресметнати някои основни характеристики на изследвания параметър:

- за центъра на групиране е определена средната стойност ($\bar{Z}$):

$$\bar{Z} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z_i \quad \bar{Z}_1 = 0.7 \mu m; \quad \bar{Z}_2 = 0.5 \mu m \quad (1)$$

- за разсейването са пресметнати размахът (R):

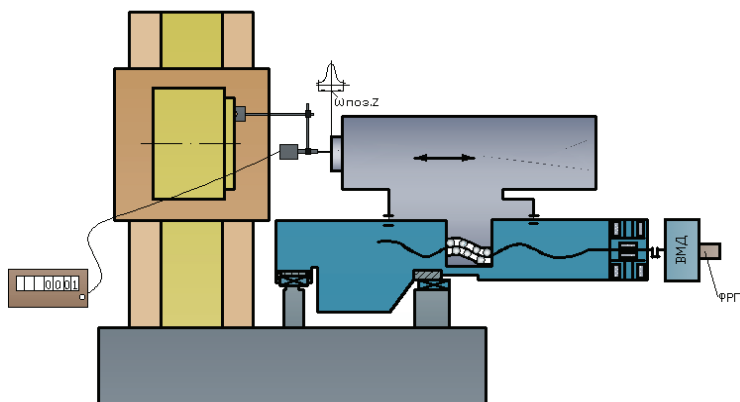
$$R_1 = 5 \mu m; \quad R_2 = 1 \mu m \quad (2)$$

и средноквадратичното отклонение (S) по зависимостта:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2} \quad S_1 = 1.2 \mu m; \quad S_2 = 0.5 \mu m \quad (3)$$

- изчислено е полето ω на разсейване (доверителния интервал) при 99.73% вероятност за попадане на измерена стойност в приетите граници.

$$\omega = 6.S \quad \omega_1 = 7 \mu m \quad \omega_2 = 3 \mu m \quad (4)$$



Фиг.1. Измерване на случайната грешка от позициониране по ос Z

В случая получените стойности се отнасят за конкретна позиция на супорта по ос Z. По аналогичен начин трябва да се изследва грешката от позициониране в определен брой позиции според дължината на работния ход и да се пресметне средната ѝ стойност. Тази средна стойност става обобщена характеристика за полето на случайната грешка от позициониране за целия работен ход по изследваната ос. Но при сравняване на горните резултати, дори и от това непълно изследване, може да се установят значими стойности (Зиб μ m) и голяма разлика (около 5÷6 пъти) в големината на получените полета на грешката за двете машини.

ЕДНОМЕРНА И ДВУМЕРНА СУМАРНА СЛУЧАЙНА ГРЕШКА

Големината на всяка случайна грешка (величина) се определя от областта (полето) ω , в която е определена вероятност тя може да се прояви. При нормален закон на разпределение на единична грешка, какъвто е законът на разпределение на повечето случайни грешки при обработване и при координатни измервания на ММ с ЦПУ, полето ω е област с граници $\mu \pm 3S$, в която вероятността на проявление е $P=0.9973$. Графично (фиг.1) големината на грешката се онагледява върху ос като отсечка с дължина $\omega=6.S$. Често в практиката дадена случайна грешка не се проявява самостоятелно, а съвместно с други случайни грешки като компонента на сумарна случайна грешка. Съгласно [3,4] една от компонентите на точността при обработване и при координатни измервания е проявяващата се сумарна случайна

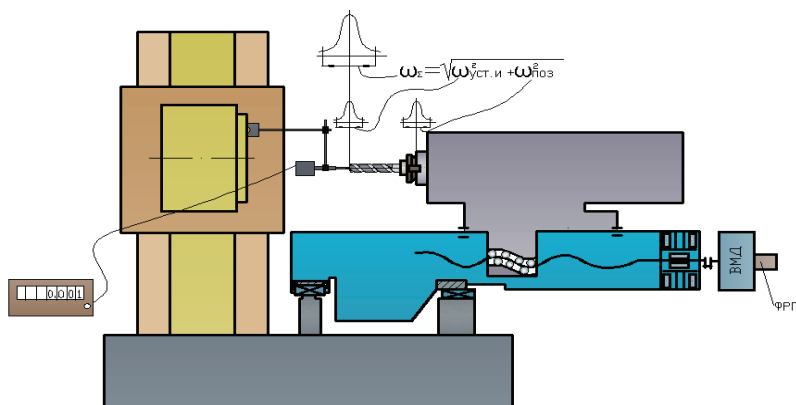
грешка. Нейните съставни са също случайни грешки т.е. случайни величини. Пример за сумарна случайна грешка е, когато тя е резултантна от само две случайни грешки. Те от своя страна могат да формират сумарна грешка чрез едномерно (линейно, едноосно) сумиране или двумерно (равнинно, двуосно) сумиране. При три и повече съставни сумирането може да е също едномерно, двумерно или пък тримерно.

Едномерно сумиране

При едномерно сумиране двете грешки имат общо направление на проявление. Подходящ пример за такъв тип сумиране е от установяване на режещ инструмент във вретеното със случайна грешка ($\omega_{\text{уст.и.}}$) и следващо позициониране по ос Z със случайна грешка ($\omega_{\text{поз.з.}}$). В случая положението на върха на инструмента се разсейва от действието на сумарна случайна грешка (ω_{Σ}) с едномерно проявление. Двете грешки са независими и имат нормален закон на разпределение. Затова и сумарната грешка е с нормално разпределение и се определя по зависимостта:

$$\omega_{\Sigma} = \sqrt{\omega_{\text{уст.и.}}^2 + \omega_{\text{поз.з.}}^2} \quad (5)$$

Графично големината на съставните грешки и на сумарната грешка може да се представи като отсечки с дължина съответно $\omega_{\text{уст.и.}}$, $\omega_{\text{поз.з.}}$ и ω_{Σ} (фиг. 2.).



Фиг. 2. Сумарна грешка при едномерно сумиране на съставните

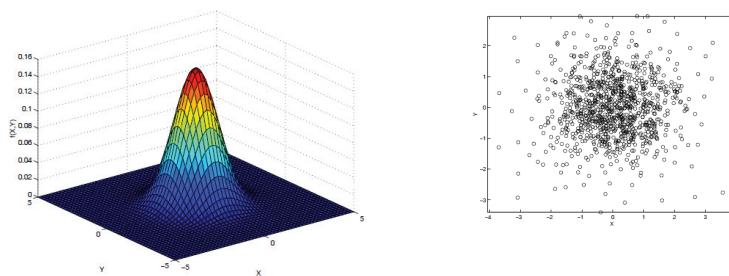
При координатно измерване с ТИГ на ММ с ЦПУ в една точка, сумарната грешка също се получава чрез едномерно сумиране [13].

Двумерно сумиране

При двумерно сумиране направленията на проявление на двете грешки се пресичат под определен ъгъл в равнина. Графично големината на съставните грешки може да се представи върху две пресичащи се оси като отсечки с дължина съответно ω_1 и ω_2 , а сумарната грешката ω_{Σ} се представя с площ, имаща форма на успоредник със страни ω_1 и ω_2 [5]. В общия случай съставните са независими и различни по големина, а сумирането се представя с израз:

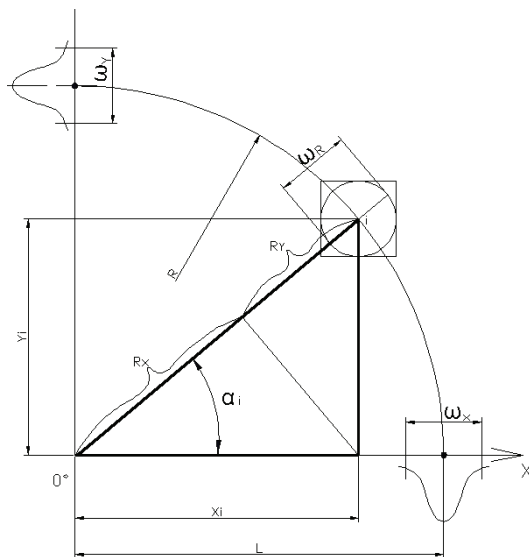
$$\omega_{\Sigma} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{(k_1 \cdot \omega_1)^2 + (k_1 \cdot \omega_2)^2} \quad (6)$$

На фиг.3 са представени варианти за графично изобразяване на сумарна грешка от две равни по големина случайни и независими грешки с нормален закон на разпределение.



Фиг. 3. Представяне на плътността на разпределението чрез двумерна повърхност и облак от точки

Аналогичен пример е двумерното сумиране на случайните грешки при позициониране на супортите по оси X и Y на ММ с ЦПУ (каквото е ОЦ MC032) в равнина OXY. При обработване и при координатни измервания с позициониране по всяка от двете оси се проявява случайна грешка от позициониране с нормален закон на разпределение. На фиг. 4 съответно с ω_x и ω_y са означени съответните големина на практическите им полета на разсейване. Ако се приеме, че големината на тези полета са едни и същи по цялата дължина на всяка от осите и са равни по между си, то при позициониране само по едната от тях в коя да е точка разсейването е в границите $\pm\omega_{x,y}/2$.



Фиг. 4. Грешка при позициониране в равнината OXY

грешка ω_R , звеното R_x се получава с грешка ω_x , а звеното R_y с грешка ω_y . Съгласно [2] "За размерни вериги с неуспоредни звена полето на разсейване и допускът на затварящото звено се пресмятат като в зависимостта под корена се включва коефициентът ξ_i .

При теоретичното изследване на примера се анализира получаването на размера L в равнината OXY по зависимостта:

$$L = R \pm \frac{\omega}{2}$$

В равнината OXY множеството от точки отдалечени на разстояние L от началото на координатната система може да се представи като $\frac{1}{4}$ дъга от окръжност с радиус R, център O и начален ъгъл $\alpha=0^\circ$. На фиг. 4 са представени общ случай и два от частните случаи на позициониране в равнината. Размерът R следва да се разгледа като затварящо звено на размерна верига с неуспоредни съставни звена X_i и Y_i , с проекции R_x и R_y . Размерът R се получава с

С този коефициент се отчита предавателното отношение т.е. степента на влияние на съответното съставно звено върху затварящото.

$$\omega_R = \sqrt{\xi_{X_i}^2 \cdot \omega_{X_i}^2 + \xi_{Y_i}^2 \cdot \omega_{Y_i}^2} \quad (8)$$

В случая коефициентът ξ_i е тригонометрична функция на ъгъла, който сключва всяко съставно звено със затварящото.

$$\xi_X = \cos(\alpha), \xi_X [1,0] \text{ при } 0 \leq \alpha \leq 90^\circ \quad \text{и} \quad \xi_Y = \sin(\alpha), \xi_Y [0,1] \text{ при } 0 \leq \alpha \leq 90^\circ$$

$$\omega_R = \sqrt{\cos^2 \alpha \cdot \omega_{X_i}^2 + \sin^2 \alpha \cdot \omega_{Y_i}^2} \quad (9)$$

От (9) се вижда, че всяка от двете съставни участва с променлив дял в зависимост от направлението на позициониране (ъгъла α). В границите ($0 \leq \alpha \leq 45^\circ$) преобладава ω_X , а в границите ($45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$) преобладава ω_Y . При ъгъл $\alpha=45^\circ$ влиянието на двете грешки е еднакво. Сумарната грешка ω_R обаче запазва постоянна стойност ако се приеме, че $\omega_X = \omega_Y = \omega_{X,Y}$. Тогава (9) придобива вида:

$$\omega_R = \sqrt{(\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) \cdot \omega_{X,Y}^2} \quad (10)$$

От последния израз следва, че ако една от двете съставни участва в сумата с цялата си стойност, то другата е нула и обратно.

След преобразуване се получава:

$$\omega_R = \sqrt{1 \cdot \omega_{X,Y}^2} = \omega_{X,Y} \quad (11)$$

Следователно при равни съставни сумарната грешка ω_R практически е равна по големина на всяка от съставните.

ИЗВОДИ

- При равнинно позициониране на ММ с ЦПУ за определяне на сумарната грешка от позициониране се прилага двумерно сумиране.
- Делът на всяка от съставните в сумирането се определя от тригонометрична връзка и зависи от ъгъла, който сключва направлението на измерване с двете оси.
- Ако грешките от позициониране по двете оси са равни, то точността на позициониране във всички направления на равнината е една и съща.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Борисов Б. и др. "Справочник технолога-машиностроителя" том 1, Машиностроение, Москва 1985г.
- [2] Гатев Г., Размерни вериги, Техника, София 1979г.;
- [3] Замфиров И., Д. Димитров и др. Разработване и изследване на система за трикоординатни измервания върху машини с ЦПУ, Отчет на ПРОЕКТ ФНИ 2009 – ФМТ – 04 на РУ "А. Кънчев"
- [4] Карачорова В., Д. Димитров "Възможности за автоматична самодиагностика на обработващи центри", НК на РУ и СУ-2011г
- [5] Митков Ат., Математични методи на инженерните изследвания, Русе 1985г
- [7] БДС/ISO 17397–1998, нов 17397–2005, Речник на основни и общи термини по метрология. Точност на измерванията. Прецизност, повтораемост, възпроизводимост

За контакти:

гл.ас. Димитър Димитров, Катедра "ТММРМ" РУ"Ангел Кънчев", ddimitrov@uni-ruse.bg
 маг.инж. В.Карачорова, Кат. "ТММРМ" РУ"Ангел Кънчев", vkarachorova@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран