Изследване на точността при координатни измервания на обработващи центри

Виктория Карачорова

Investigation of accuracy of coordinate measurements of machining centers. *In carrying out the coordinate measurements with 3D touch probe on machining centers are received a total error. By dimensional analysis has established the origin of fundamental errors.*

Key words: *machining centers, accuracy, 3D touch probe*

ГРЕШКИ ПРИ КООРДИНАТНИ ИЗМЕРВАНИЯ НА ОБРАБОТВАЩИ ЦЕНТРИ. СЪСТОЯНИЕ НА ВЪПРОСА

Координатните измервания (КИ) върху обработващи центри (ОЦ) се осъществяват с помощта на контактна трикоординатна измервателна глава (ТИГ) [4]. Те намират широко приложение за решаване на редица измервателни задачи по настройването и поднастройването на технологичната система, текущ контрол на точността на обработване и др. [3,5,6,7], включително и за контрол на параметри от геометричната точност на машината [9,10,12]. Основен критерий за приложение на тези измервания е точността им. При координатни измервания на ОЦ с помощта на трикоординатна измервателна глава точността им се определя от влиянието на получаващата се сумарна грешка [3,4,8,12]:

$$\varepsilon_\Sigma = f(\Delta_\Sigma, g_\Sigma, \omega_\Sigma) \quad (1)$$

Тази грешка включва в себе си като съставни систематична постоянна (Δ_Σ), систематична закономерна (g_Σ) и случайна грешка (ω_Σ). Всяка от тях от своя страна представлява сума от съответните грешки, породени от компонентите на системата за координатни измервания.

$$\Delta_\Sigma = \Sigma\Delta_i \,;\, g_\Sigma = \Sigma g_i \,;\; \omega_\Sigma = \Sigma\omega_i \quad (2)$$

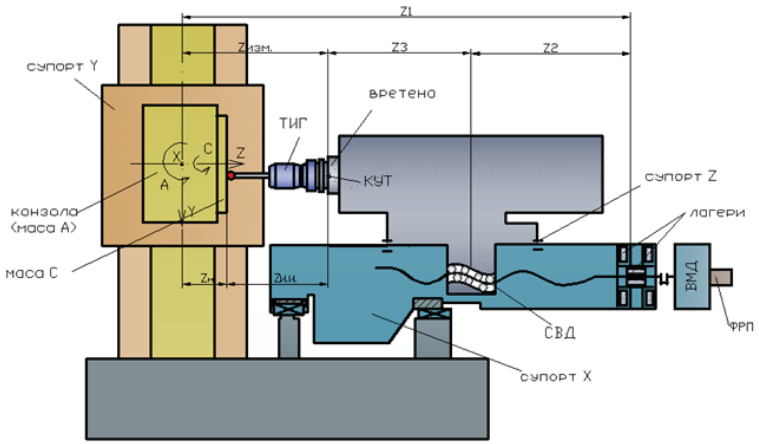
При това закономерната и случайната грешка стават причина за внасяне на неопределеност в получените резултати от измерванията. Поради характера на своя произход и влияние систематичните грешки могат да бъдат установени, прогнозирани и компенсирани, затова изследването се насочва основно към неопределеността, внасяна от сумарната случайна грешка и съставните й.

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА СУМАРНАТА ГРЕШКА ПРИ ИЗМЕРВАНЕ В ЕДНА ТОЧКА

Принципът на координатните измервания се основава на определянето на координатите на една или повече контролни точки спрямо координатна система. Във връзка с това е необходимо да се определи сумарната случайна грешка при координатно измерване в една точка. За определянето на компонентите на грешката е подходящо да се приложи размерен анализ [2,11] като се построи измервателната размерна верига, по която се осъществява измерване на ОЦ за определяне координата на точка. При обработващите центри е прието положението на всички работни органи да се отчита спрямо въведена машинна правоъгълна координатна система 0XYZ (фиг.1). Конструкцията на значителна част от обработващите центри (напр.МС032) включва корпус, супорти с плъзгащи направляващи и задвижване чрез високомоментен двигател (ВМД) и винтовогаечна предавка със сачмено-винтова двоица (СВД). Подавателните им преводи са следящи преводи с индиректна обратна връзка, чийто датчик (ФРП) е вграден в корпуса на подавателния двигател. В случая може да се приеме, че видът, броят и характерът на въздействие на съставните звена при измервания по всяка от работните оси на ОЦ е принципно аналогичен. Това дава възможност анализът да се опрости като се приложи само за една от работните оси и се поясни чрез конкретен пример. Целта е чрез координатно

измерване с ТИГ да се определи размера $Z_м$, задаващ положението на точка от работната маса на машината по ос Z спрямо машинната координатна ситема (МКС). Определянето на размера $Z_м$ налага последователното разглеждане на две свързани размерни вериги с успоредни звена като в основната (втората) той е затварящо звено, а затварящото звено на производната (първата) е съставно в основната. Следователно грешката на затварящото звено $Z_м$ ще представлява сума от всички грешки на всички съставни звена от двете размерни вериги. Впоследствие определената чрез настоящото изследването сумарна грешка на този размер следва да се включва в сумарната грешка при осъществяване на аналогични измервания в една точка по тази ос.

Производната размерна верига е тази, от която се формира затварящото звено $Z_{изм.}$ при измерване по ос Z на точка от масата на МС032. Получената размерна връзка е построена в равнината 0YZ и е с успоредни съставни звена.



Фиг.1. Размерен анализ при координатно измерване по ос Z

Размерът $Z_{изм}$, представлява отчетената координата на т.нар. програмно или командно управляваната точка (КУТ) при измерване по ос Z спрямо началото на въведената машинна координатна система. При този тип машини КУТ е пресечната точка между челото на вретеното и оста му. Номиналът на $Z_{изм}$, се определя по зависимостта:

$$Z_{изм.} = Z_1 - (Z_2 + Z_3) \qquad (3)$$

Останалите размери – съставни звена в производната размерна верига са:

Z_1 – размер на корпуса, представляващ разстояние от осевата опора на лагера на ходовия винт по ос Z до началото на МКС;

Z_2 - размер, представляващ разстояние от осевата опора на лагера на ходовия винт по ос Z до опората на сачменовинтовата двоица (СВД). Номиналът на този размер се изменя в зависимост от позицията на супорта по ос Z;

Z_3 - размер, представляващ разстояние от опората на СВД до КУТ, намираща се в челото на вретеното.

Положението на точката от масата се задава с размера $Z_м$, представляващ затварящо звено в основната размерна верига със съставни звена $Z_{изм.}$ и $Z_{и.и.}$.

$$Z_м = Z_{изм.} - Z_{и.и.}, \qquad (4)$$

Където: $Z_{и.и}$ е размерът на измервателния инструмент. Той включва ТИГ заедно с частта от инструменталния държач и представлява излетът на целия комплект пред челото на вретеното.

Ако в последния израз $Z_{изм.}$ бъде заместен с неговото равно от (3) се получава:

$$Z_{м} = Z_1 - (Z_2 + Z_3) - Z_{и.и.} \quad (5)$$

При анализа на размерната верига се установява, че:

- Размерите Z_1 и Z_3 участват само със систематични компоненти в сумарната грешка. Това са грешки, породени от топлинните деформации на звената.

- Размерите Z_2 и $Z_{и.и}$ участват както със систематични, така и със случайни компоненти. От тях:

- Размерът $Z_{и.и}$ е източник на случайната грешка при установяване $\omega_{уст.д}$ на държача, във вретеното и на случайната грешка $\omega_{ТИГ}$ на ТИГ .

- Размерът Z_2 е източник на случайната грешка при отчитане на позицията $\omega_{отч.поз.}$ и на случайната грешка ω_{SKIP} на системата за ЦПУ при регистриране на сигнал за измерване SKIP, подаден от ТИГ след допир с измерваната повърхност.

Тогава може да се обобщи, че при едноточково измерване сумарната случайна грешка на системата е сума от независими случайни грешки:

$$\omega_{\Sigma 1} = \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{(к_i.\omega_{ТИГ})^2 + (к_i.\omega_{уст.д.})^2 + (к_i.\omega_{отч.поз.})^2 + (к_i.\omega_{SKIP})^2}$$

(6)

Относно произхода на всяка от съставните може да се даде следното пояснение:

$\omega_{тиг.}$ поле на случайната грешка на ТИГ. Дължи се на триенето, което възниква вътре в ТИГ между подвижните и неподвижните базиращи елементи на измервателната глава при изпълняване на работните състояния установяване и измерване. Големината й зависи и от големината на измервателната сила.

$\omega_{отч.поз}$ - поле на грешката при отчитане позицията на измерване [14]. Дължи се на системата за индиректна обратна връзка. Извесно е, че $\omega_{отч.поз} < \omega_{поз.м.}$ Това означава, че в режим измерване машината въвежда по-малка случайна грешка в сумарната отколкото с позиционираният при обработване. Но при липса на данни за стойността на $\omega_{отч.поз}$ може в пресмятанията да се използва $\omega_{поз.м.}$, с което се завишава стойността на сумарната грешка (т.е. осигурява се резерв от точност).

$\omega_{поз.м}$ - поле на сумарната случайна грешка от позициониране на супорта. Дължи се на сумарното неблагоприятно въздействие на няколко фактора в конструкцията на следящите преводи на МС032 като основните от тях са:

- Използване на плъзгащи направляващи за супортите по осите X, Y, Z и възникващите в резултат на това неустойчиви условия на триене при микропремествания и скорости на движение на супортите близки до нула;

- Използването на сачмено-винтова двоица за предаване на движението от двигателя към супорта е предпоставка за предаване на грешките в стъпката на винта, сглобките между отделните елементи и възникващите различни еластични деформации при неравномерно натоварване;

- Използване на индиректна обратна връзка. В случая датчикът за обратна връзка (ФРП) е свързан с вала на двигателя (ВМД) и е вграден в корпуса му. Така той е отдалечен от изпълнителния елемент – супорта, което го прави нечувствителен към всички смущения по кинематичната верига двигател-супорт.

$\omega_{уст.д}$ – поле на грешката при установяване на инструменталния държач във вретеното на машината. Дължи се на разсейване на условията при заклинването и на еластичните контактни деформации, които възникват между конусната повърхнина на инструменталния държач и конусната повърхнина на вретеното. Тази грешка се поражда случайно при всяко установяване на инструменталния държач

във вретеното. Впоследствие, при непрекъснатост на установяването, влиянието й е постоянно, т.е. тя има характер на случайна ($\omega_{уст.д.}$) по произход за първоначално отчитане и на постоянна ($\Delta\omega_{уст.д.}$) при всяко следващо отчитане.

ω_{SKIP} - поле на грешката на системата за ЦПУ на ММ при регистриране на външен сигнал за прекъсване (SKIP). Зависи от т. нар. времеконстанта (t) на ЦПУ за сканиране на входа, към който се подава сиганала при измерване (това е външен сигнал за прекъсване SKIP) и е пропорционална на скоростта на съответното подавателно движение (V_f) при измерване. Последното позволява да се подбере такава подавателна скорост, че резултантната ω_{SKIP} да бъде достатъчно малка.

$$\omega_{SKIP} = V_f.t \tag{7}$$

В горната зависимост (6) коефициентите (κ_i), които отчитат относителното разсейване на $\omega_{тиг}$, $\omega_{отч.поз}$ и $\omega_{уст.д}$ са единица тъй като величините имат нормален закон на разпределение. Същото се отнася и за K_Σ за изходната величина.

Тъй като ω_{SKIP} има разпределение по закона на равната вероятност, то съгласно [1,2,11,14]:

$\kappa_i = 1.73$

Следователно като се отчете значението на коефициентите и се осъществи заместване в (6) на $\omega_{отч.поз}$ с $\omega_{поз.м}$, то за сумарната грешка при измерване в една точка може да се запише:

$$\omega_{\Sigma 1} = \sqrt{\omega_{ТИГ}^{\ 2} + \omega_{уст.д.}^{\ 2} + \omega_{поз.м.}^{\ 2} + 3.\omega_{SKIP}^{\ 2}} \tag{8}$$

Зависимост (8) се прилага за определяне на ω_1 ако след установяване във вретеното не се приложи калибриране на ТИГ. Ако се приложи калибриране влиянието на грешката при установяване на инстр. държач $\omega_{уст.д}$ се изключва.

В такъв случай зависимостта придобива вида:

$$\omega_{\Sigma 1} = \sqrt{\omega_{ТИГ}^{\ 2} + \omega_{поз.м.}^{\ 2} + 3.\omega_{SKIP}^{\ 2}} \tag{9}$$

и представлява количествена оценка на разширената неопределност на измерването в една точка. За да се доближи резултатът от измерването максимално до центъра на групиране при необходимост се прилагат многократни (n) повторения на измерванията във всяка i-точка, и се пресмята средноаритметичната стойност. А големината на полето $\omega_{\Sigma i}$ се коригира със следната зависимост:

$$\omega_{\Sigma 1k} = \frac{\omega_{\Sigma i}}{\sqrt{n}}, \tag{10}$$

където $\omega_{\Sigma 1k.}$ е получената като резултат коригирана стойност на $\omega_{\Sigma i}$.

ИЗВОДИ

1. Прилагането на размерен анализ позволява разкриването на съставните случайни грешки при координатни измервания върху обработваш център.

2. За числено определяне стойността на сумарната случайна грешка е необходимо да се определят индивидуалните стойности на отделните компоненти.

3. При работа в режим на измерване машината работи по-точно и отчита по-точно позицията в сравнение с обработващо позициониране. За коректна оценка на точността на координатните измервания е нужно да бъде установена и използвана големината на случайната грешка при отчитане на позицията на измерване $\omega_{отч.поз}$ вместо грешката от позициониране $\omega_{поз.м}$.

4. При необходимост случайната грешка от установяване $\omega_{уст.д}$ може да се изключи чрез прилагане на калибриране на системата.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Борисов Б. и др. “Справочник технолога-машиностроителя” том 1, Машиностроене, Москва 1985г.

[2] Гатев Г., Размерни вериги, Техника, София 1979г.;

[3] Димитров Д., И. Замфиров 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] Димитров Д. Трикоординатна измервателна глава. В: Международна научна конференция АМТЕСН-07, Габрово, 2007

[5] Димитров Д. Анализ на възможностите за оптимизация на координатните измервания. В: IV Междун. конгрес по машиностроителни технологии, Варна, 2004

[6] Димитров, Д. Изследване точността на статичното настройване на обработващи центри при вариантност на базите. В: НК на РУ и СУ 2011, том 50, серия 2, Механика и машиностроителни технологии, Русе, 2011

[7] Димитров Д., Г. Ненов и М. Енчев. Система за координатни измервания. В: Изв. съюза на учените - Русе “Техн. науки” т.4, №1, с. 35-40, Русе, 2002

[8] 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

[9] Енчев, М., Д. Димитров и Г. Ненов. Система за автоматизирана проверка на точността на позициониране на МРМ с ЦПУ. В: Advanced Mechanical Engineering & Technology -АМТЕСН ’99 Пловдив 1999г.

[10] Енчев, М., и Д. Димитров. Система за автоматизирана проверка на основни параметри на геометричната точност на металорежещите машини с ЦПУ. В: V международна конф. по машиностроителна техника и технологии - АМТЕСН’ 01, 03-05 Октомври, Созопол, 2001

[11] Замфиров Ив., М.Енчев, Г.Ненов. Технология на машиностроенето, ч.1, Основи на технологията на машиностроенето. Русе, РУ ”Ангел.Кънчев”, 2006,

[12] Карачорова В., Д. Димитров” Възможности за автоматична самодиагностика на обработващи центри”, НК на РУ и СУ-2011г

[13] Митков Ат., Д. Минков, Математични методи на инженерните изследвания, Русе 1985г.

[14] FANUK 6 - MAINTENANCE MANUAL

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

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

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

[18] 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

[19] 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:

маг.инж.В.Карачорова, Кат. ”ТММРМ” РУ”Ангел Кънчев”, vkarachorova@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран