

МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НЕПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТТА НА ЛИНЕЙНИТЕ ОСИ НА ОБРАБОТВАЩ ЦЕНТЪР С ПОМОЩТА НА ПРИЗМАТИЧЕН КАЛИБЪР

MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING OF THE NON PERPENDICULARITY OF LINEAR AXES OF MACHINING CENTER USING A PRISMATIC CALIBER

Assist. Dimitrov D. PhD.¹, M.Sc. Karachorova V.¹, Assoc.Prof. Nenov G. PhD¹
Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering – University of Ruse, the Republic Bulgaria
ddimitrov@uni-ruse.com

Abstract: When processing a workpiece geometrical inaccuracies of the machine is copied in a certain manner on the resulting surfaces. There are a number of methods and practical solutions to control the geometric precision of machines and in particular machining centers (MC) and milling machines (CNC). Among these are those that are based on the measurement of specific suitable caliber. For this purpose, the machine should work in measurement mode, most often using 3D touch trigger probe. The publication presented deduced mathematical relationships necessary to determine the deviations from the perpendicularity between the linear axes of the machine by self-diagnosis. The results were obtained using prismatic caliber who is established disoriented on the workbench of a controlled machine.

Keywords CNC MACHINES, GEOMETRIC ACCURACY, SELF-DIAGNOSIS

1. Въведение

При обработване на детайл геометричните неточности на машината се копират по определен начин върху получените повърхнини. Известни са редица методи и практически решения за контрол на геометричната точност на машините и в частност на обработващите центри (ОЦ) и фрезите с ЦПУ. Сред тях са и такива, които се основават на измерването на подходящ специален калибър. За целта машината трябва да работи в измервателен режим, най-често с помощта на контактна трикоординатна измервателна глава (ТИГ) [4]. В публикацията са представени изведените математически зависимости, необходими за определяне на отклоненията от перпендикулярност между линейните оси на машината чрез самодиагностика с ТИГ. Зависимостите са изведени при използване на призматичен калибър, за който при установяването му върху работната маса на контролираната машина не е необходимо положението му да бъде напълно ориентирано.

2. Изложение

Един широко използван метод за оценка на геометричната точност на машината се основава на сравняването на програмираните и получени контури. За целта се обработва детайл-образец, изграден от характерни повърхнини, подбрани така, че при обработване да могат да проявят и впоследствие лесно да се измерят и анализират геометричните неточности на машината.

Недостатъци на метода са:

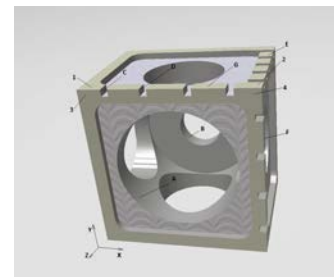
1. За постигане на необходимата точност на измерване е необходимо получаване на повърхнини с ниска грапавост;
2. За да могат достатъчно отчетливо да се отразят грешките от геометрична неточност на машината е желателно обработваните повърхнини да са с достатъчни размери, съизмерими с работната зона на машината;
3. За измерване на обработения детайл е необходима измервателна машина.

Обработването на детайл, покриващ изискванията по точките 1 и 2, е свързано с доста разходи на материали и време. Заедно с необходимостта от измервателна машина, тези недостатъци ограничават масовото приложение на този метод.

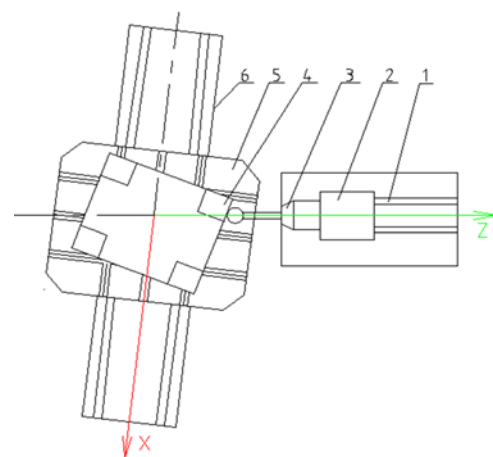
В публикацията се разглеждат възможностите на метод, основаващ се на обратен подход. Специално конструиран и изработен детайл-калибър (фиг.1,а) предварително и

еднократно се измерва възможно най-точно върху измервателна машина. Получават се т.нар. действителни размери и стойности за калибъра. След това същият се измерва и върху контролираната металорежеща машина, като за целта тя се въвежда в режим на измервателна машина. Сравнявайки резултатите от измерването с действителните размери на калибъра се прави оценка за състоянието на машината.

На фиг.1,б) са показани основните елементи в получаващата се измервателна система. С 1 и 6 са означени направляващите по Z и X с видима неперпендикулярност между тях. С 2 е означено вретеното на машината, а с 3 – контактна трикоординатна измервателна глава (ТИГ), С 5 е



а)



б)

Фиг.1 Призматичен калибър - а) и контрол на геометричната точност на ОЦ с негова помощ - б)

означена работната маса на машината, върху която приблизително ориентирано е базирано специалното приспособление - призматичен калибър 4 [3].

При МРМ с ЦПУ почти винаги се използва дясноориентирана правоъгълна координатна система, осите на която са успоредни на съответните направляващи, а началото ѝ се избира според всеки конкретен случай и няма отношение към точността на обработването. Неуспоредността на направляващите спрямо осите на тази теоретична координатна система са в основата на геометричните грешки на машината.

За да може данните от измерването да дадат максимална информация за източниците на грешка е необходимо да се направи предварителен анализ за влиянието им първо самостоятелно, а след това и комбинирано. За целта първо се разглеждат геометричните грешки и тяхното измерване в трите равнини – XOY, XOZ и YOZ, а след това и комбинираното им влияние.

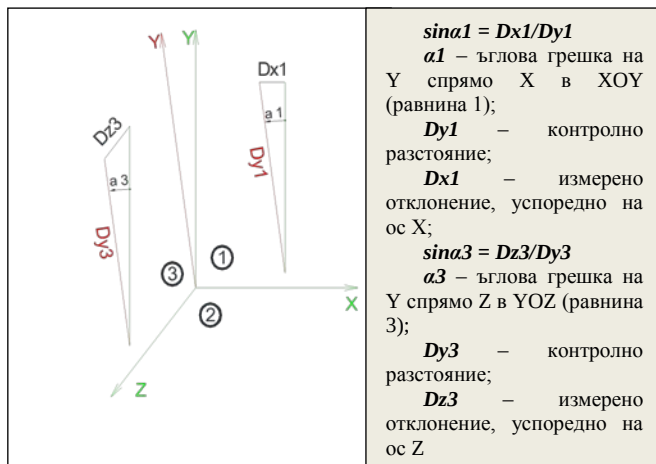
2. Измерване на перпендикулярност на осите X, Y и Z

Неперпендикулярността на осите в трите равнини XOY, XOZ и YOZ се извършва по идентичен начин. Във всяка равнина се избира една от осите да бъде базова и спрямо нея се определя отклонението от перпендикулярност на другата. Резултатът се изразява като отношение ($\sin$ или $\tan$, които при ъгли, по-малки от 1° са практически еднакви) на измереното отклонение Dx по базовата ос (в случая X) спрямо избраното предварително контролно разстояние Dy по другата ос, (фиг.2):

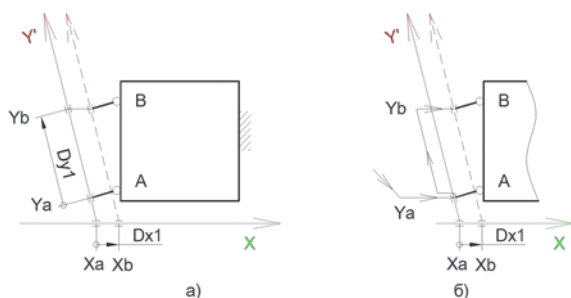
$$(1) \sin \alpha = Dx/Dy \sin \alpha$$

Когато неуспоредността на установяване на ръба на калибъра е сравнително малка (до 2° - 5°) може да се приеме, че при измерване положението на точката на контакт по сферичния осезател на ТИГ оказва пренебрежимо влияние.

Тъй като всяка ос участва в две съседни равнини, резултатите от измерванията в равнината XOY в по-нататъшните анализи са с индекс 1, XOZ – 2 и YOZ – 3.



Фиг.2 Означения на измерваните елементи в 3-те равнини



Фиг.3 Измерване на грешката на ос Y спрямо X в равнина XOY

Със зелено са показани теоретичните положения на осите, а с червено действителните.

В зависимост от конструктивния подход, съществуват машини, при които част от движенията се извършват от детайла, а друга част – от инструмента. Това се взема под внимание при комплектуване на машината със системата за ЦПУ, така че програмирането да не зависи от конструкцията на машината.

На фиг. 3.а е показана схема на измерване на перпендикулярност на оста Y спрямо X чрез използване на правоъгълен калибър. За целта върху масата на машината се поставя калибър (показан с дебела линия), така че едната му страна да е успоредна на една от осите (в случая ос X). Приема се че детайлът е неподвижен, а движенията се извършват от инструмента, в случая – трикоординатна измервателна глава (ТИГ). На фигурата условно е показан само измервателният накрайник.

Траекторията на ТИГ при измерване е показана на фиг. 3.б. Първото измерване се извършва в т. А, като по Y ТИГ се позиционира в координата Ya. След това започва измервателно преместване по X, при което се очаква съприкосновение на измервателния накрайник с калибъра. При докосване се получава измервателен сигнал и чрез обратната връзка на системата за позициониране координатата Xa се запомня.

Второто измерване става по аналогичен начин, но предварително ТИГ се премества по Y на позиция Yb. Ако оста Y е перпендикулярна на X, измервателният сигнал би трябвало да се получи в същата позиция Xa. При наличие на неперпендикулярност обаче, сигналът от ТИГ ще се получи при ново положение на супорта, носещ направляващата по ос Y, означено като Xb.

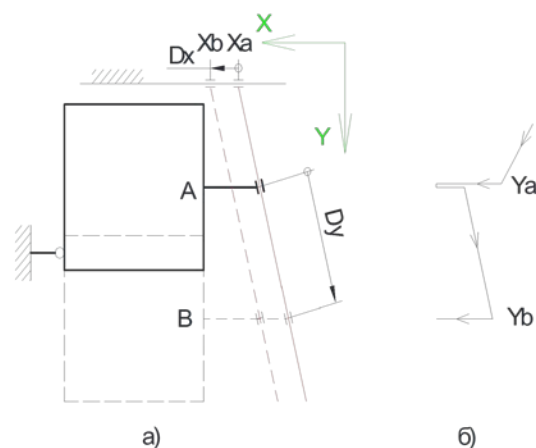
Грешката $\alpha 1$ в разположението на ос Y1 спрямо X1 (неперпендикулярност на Y1 спрямо X1) в равнината XOY може да се пресметне по зависимостта:

$$(2) \alpha 1 = \arcsin\left(\frac{Dx1}{Dy1}\right),$$

където $\alpha 1$ е отклонението от перпендикулярност, $Dy1$ – базата на измерването, $Dx1$ – разлика между координатите по X, получени при измерване в т. А и т. В (фиг. 3.б).

За постигане на максимална точност на измерването, базата Dy се избира възможно най-голяма и се ограничава от размерите на калибъра. На фиг. 4.а е показан вариант, при който вретеното с ТИГ е неподвижно, а движенията по координатните оси се извършват от детайла.

И тук калибърът се разполага така, че едната му страна да е успоредна на една от осите (ос X). Вляво схематично е показана ТИГ, неподвижно свързана с корпуса на машината. Траекторията, свързана с измервателните движения на калибъра е показана на фиг. 4.б.



Фиг.4 Измерване на грешката на ос Y при неподвижна ТИГ

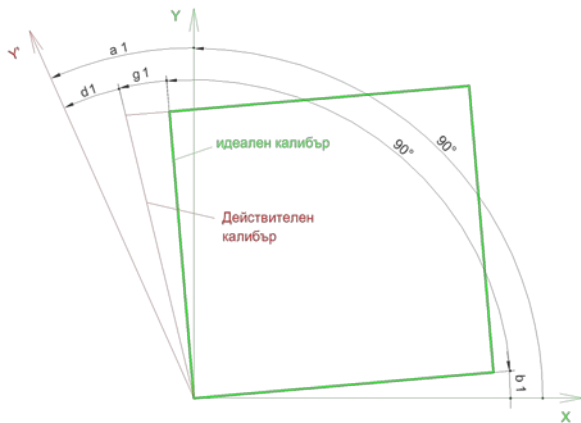
В началото супортът, носещ калибъра се придвижва до координата по $Y - Y_a$, след което започва измервателно движение по X докато калибърът докосне измервателния накрайник и съответно в системата за ЦПУ се запамятава координатата X_a . След това калибърът се препозиционира в т. Y_b и следва второ измервателно движение по X докато се получи сигнал за докосване, при което се запомня координатата X_b . Положението на калибъра и направляващата Y при това положение са показани с прекъсната линия. Както и в предния случай разстоянието Dx зависи от неперпендикулярността на ос Y спрямо X .

С разглеждания пример се доказва, че резултатът от измерването на грешката не зависи от това, дали се движи ТИГ или калибър. Това се отнася и за проявата на тази грешка при обработването на детайли и за програмирането на движенията при машините с ЦПУ. С други думи, разглежданите схеми на измерване са общо приложими, въпреки многообразието на конструкциите на обработващи центри. Поради това, по-нататъшните анализи ще са на базата на неподвижен калибър и подвижна ТИГ, като по-нагледна и съответстваща на общоприетите принципи за програмиране на машини с ЦПУ.

Извършените до тук разсъждения са верни при условие, че калибърът е с идеални геометрични характеристики. При изработването му обаче, винаги се допускат известни грешки. Свеждането им под определени стойности рязко увеличава цената му. Във връзка с това е приет подход, при който калибърът се обработва с икономически целесъобразна точност, след което той се измерва на измервателна машина. По-нататък измерените отклонения се включват чрез съответни корекции към резултатите от измерването на геометричната точност на ОЦ.

Друг проблем при измерването на геометричната точност на ОЦ е правилното разполагане на калибъра върху масата на машината. В разглежданите схеми се налага едната страна на калибъра да е успоредна на избраната за база ос. Като се обърне внимание, че желаната точност на измерване е от порядъка на стотни и хилядни от mm, правилното установяване на калибъра се оказва доста трудоемко. За да се опрости тази част от работата се приема калибърът да се установи с относително ниска точност (примерно 0.2-0.3 mm), като при измерванията се отчете действителното му положение и при изчисленията автоматично се включват съответни корекции.

На фиг.5 е показан общ случай, при който ръбът на калибъра, показан с дебела зелена линия, сключва с базовата ос ъгъл β_1 . Самият калибър също е с определена грешка γ_1 , представляваща неперпендикулярност на втория ръб спрямо базовия. Ъгълът δ_1 е резултатът от измерването на геометричната точност на машината. Интересуващата ни грешка е α_1 , представляваща неперпендикулярността на Y спрямо X в равнината XY .



Фиг.5 Влияние на допълнителните грешки при измерване

От построението на фиг.5. може да се изведе следното равенство:

$$\beta_1 + 90^\circ + \gamma_1 + \delta_1 - \alpha_1 - 90^\circ = 0,$$

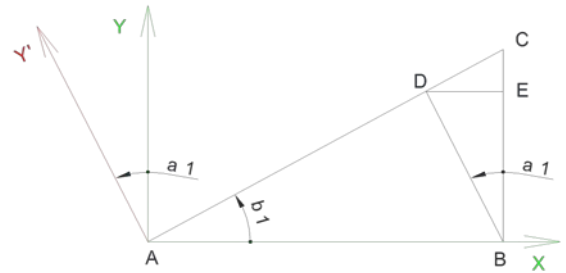
което след съкращаване и опростяване придобива окончателно вида:

$$(3) \quad \alpha_1 = \beta_1 + \gamma_1 + \delta_1$$

За да се изчисли грешката α_1 по формулата (3) е необходимо предварително да бъде измерена грешката γ_1 . Това трябва да стане на измервателна машина и резултатите да се използват като константи при използване на калибъра.

Ъгълът β_1 се изчислява на базата на измервания, направени на самата атестирана машина – фиг.6.

Отсечката AC е част от ръба на калибъра, който трябва да е успореден на оста X . Грешката на установяване β_1 се изчислява от правоъгълния триъгълник ABC .



Фиг.6. Определяне на грешката β_1 на установяване на калибъра

$$(4) \quad \beta_1 = \arctan BC/AB$$

AB е контролното разстояние за измерването, аналогично на разстоянието Dy от фиг.3. Измерената линейна грешка BD е успоредна на оста Y' , по която става преместването на ТИГ и е аналогична на Dx от фиг.3. Отсечката BC се изчислява от правоъгълните триъгълници BDE и EDC :

$$BC = BE + EC$$

$$BE = BD * \cos \alpha_1$$

$$DE = BD * \sin \alpha_1$$

$$EC = DE * \tan \beta_1 = BD * \sin \alpha_1 * \tan \beta_1$$

$$(5) \quad BC = BE + EC = BD * (\cos \alpha_1 + \sin \alpha_1 * \tan \beta_1)$$

От (5) се вижда, че за изчисляване на BC са необходими α_1 и β_1 , които за момента са неизвестни. От друга страна разликата $BC-BD$ за малки ъгли е пренебрежимо малка. Например, при контролно разстояние $AB=200\text{mm}$, $\beta_1=2^\circ$, $\alpha_1=0.5^\circ$, за $BC-BD=0,00186\text{mm}$. Същевременно отклонението на Y' спрямо Y на разстояние 200 mm при ъгъл $\alpha_1=0.5^\circ$ е 1.745 mm. Вижда се, че грешката в отклонението на оста е около 1000 пъти по-голяма от разлика $BC-BD$. Това ни дава основание в по-нататъшните анализи при изчисляване на β_1 да използваме измерената стойност BD вместо необходимата BC .

Следва да се отбележи, че направените до тук анализи имат за цел определянето на номиналните стойности на евентуалните геометрични отклонения на машината. Естествено е, че в случая трябва да се имат предвид и възможните грешки (особено случайните), които биха могли да възникнат и формират неопределеност при прилагането на този подход. Този аспект е подробно анализиран в [1,2], а направените заключения потвърждават перспективността и приложимостта на подхода в практиката.

3.3. Заключение

Осъществяването на контрол чрез този подход осигурява достатъчна точност на измерване и е лесно приложим в условията на малки предприятия.

Не е необходима специална квалификация, допълнителна екипировка и специална подготовка.

Конструкцията на необходимия работен калибър е достатъчна технологична и изработването му е във възможностите на повечето фирми.

Зависимостите, които се използват не представляват голяма сложност за трансформиране в MACRO за NC програма.

4. Литература

- [1] Карачорова В., Димитров Д. Възможности за автоматична самодиагностика на обработващи центри. В: НК на РУ и СУ - 2011, Русе том 5, серия 2, Механика и машиностроителни технологии., Русе, 2011, стр. стр. 78÷82
- [2] Карачорова В. Изследване на точността при координатни измервания на обработващи. В: центри НК на РУ и СУ - 2012, Русе ,под печат, Механика и машиностроителни технологии, Русе, 2012, РУ "Ангел Кънчев" Русе, 2012, стр.99-103
- [3] Георги Ненов, Д. Димитров, В. Карачорова. Работен калибър за проверка на геометричната точност на обработващи центри. В: Научна конференция - РУ&СУ'13 в България, Русе, 2013 под печат, Механика и машиностроителни технологии, Русе, РУ "Ангел Кънчев" , 2013, Русе, 2013, стр.48-51
- [4] Dimitrov, D., Karachorova, V., Szecsi, T., System for Controlling the Accuracy and Reliability of Machining Operations on Machining Centres.// Procedia Engineering, 2013, No 63, pp. 108-114, ISSN 18777058