

Анализ на грешките при измерване на детайла посредством инструмента

Светлана Колева, Милко Енчев

Analysis of errors when measuring the part using the cutting tool.: Measuring the part using the cutting tool is a modern method for automated control of the accuracy of dimensions when turning. The surface is measured using the same cutting tool which has produced its shape and dimensions. This is done using two independently functioning measurement systems– for measuring the cutting tool and for measuring the workpiece. Analyzed are the errors resulting from mismatch of the point which forms the dimension and the programme points. Outlined are the groups of errors which influence the measurement accuracy of the presented method..

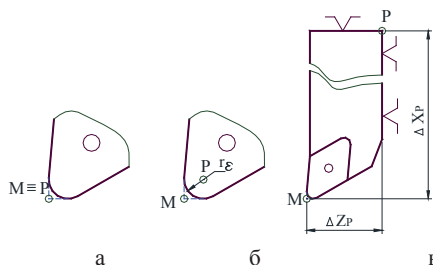
Key words: CNC, Measurement by the cutting Tool, dimensional control.

ВЪВЕДЕНИЕ

Измерването на детайла с режещия инструмент се извършва посредством две независимо функциониращи измервателни системи – за измерване на инструмента и за определяне на координатата на докосването му до повърхнината на детайла. Изпълнява се в следната последователност: след извеждане на револверната глава в необходимата позиция инструментът се подвежда към устройство за статично настройване и се определят координатите на размерообразуващите му точки; извършва се обработване на повърхнината или на част от нея; инструментът се подвежда до обработената повърхнина и чрез системата за докосване [1, 3, 5] се регистрира моментът на контакт между него и детайла по подадена към ЦПУ команда; координатите на позицията, в която се е появил сигнал за докосване, се запомнят и се сравняват със зададените; по предварително въведен алгоритъм се извършва поднастройване на технологичната система за следващия детайл или на обработвания, ако се използва пробен проход.

ИЗЛОЖЕНИЕ

С измерването на инструмента се цели определяне на координатата на размерообразуващата точка M . Тя е реална точка от режещия ръб на инструмента, с която се извършва размеро- и формообразуване на повърхнината в дадено направление. Отчетените координати при измерването на т.М. се използват за определяне координатите на програмната точка P (точка на следене). Точка P е въображаема точка, свързана с режещия инструмент – режещият ръб, центърът на закръгление на пластината, инструменталните бази (фиг.1), която с команди в управляващата програма описва траектория, съответстваща на контура на обработвания детайл.

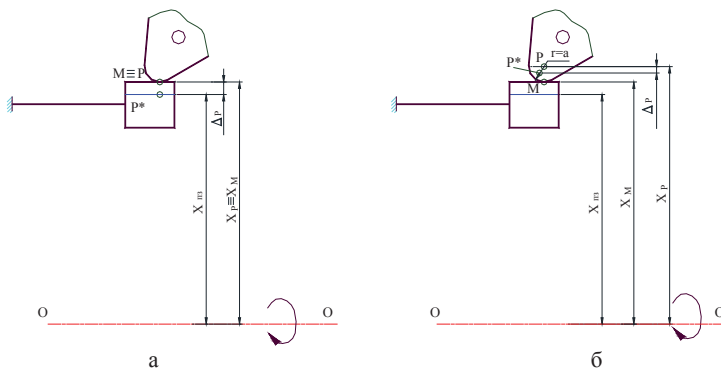


Фиг.1. Взаимни положения на размерообразуващата (т.М) и програмната (т.Р) точки

При програмирането се приема, че размерообразуващата точка M е разположена в съответното положение спрямо избраната програмна точка P . Реално това се постига след началното настройване и се поддържа с периодични поднастройки. Дефинирането на точка P става с въвеждането на абсолютна координатна

система, като последната е обвързана с базите на детайла. Следователно от точността на измерване на т.М зависи точността, с която се определя позицията на т.Р и нейното задаване в абсолютната координатна система (постига се ориентацията на програмираната траектория). Ако $t.P \equiv t.M$, траекторията, описвана от размерообразуващата точка ще съвпада с програмираната (фиг.1, а).

При разпологане на т.Р в центъра на закръгление на инструмента нейната траектория ще е еквидистантна на траекторията на т.М (фиг.1, б). По време на движение на супортите координатите на т.Р непрекъснато се отчитат (следят) от системата за ЦПУ.



Фиг.2. Формиране на грешката в измерването на размерообразуващата

Поради това, че посредством т.М се определят координатите на т.Р и се дефинира нейното положение спрямо абсолютната координатна система, грешката в измерване на т.М се отразява и като грешка при определяне на т.Р. На (фиг.2) е показан графичен модел на формиране на грешката в измерване на т.М за случаите, когато $t.P \equiv t.M$ и т.Р е разположена в центъра на закръгление на режещата пластина (изместена спрямо т.Р на разстояние $a = r_g$).

Действащите грешки в схемата на измерване водят до разлика между отчетената от системата позиция на задействане X_p (координатата на точката на следене) и предварително определената позицията на задействане на координатното устройство $X_{п.з}$. Тази разлика се въвежда като корекция Δ_p и води до изместване на програмната точка в положение показано на фигурата с P^* . Нейната стойност се определя от уравнението:

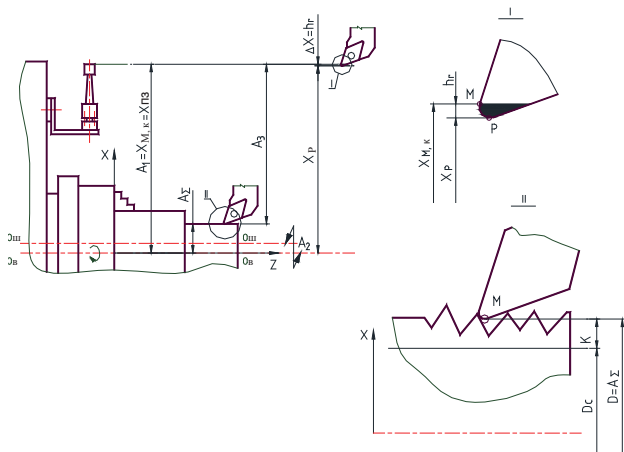
$$\Delta_p = X_p - X_{P^*} = X_m - X_{п.з} \rightarrow \text{фиг.2.3, а}$$

$$\Delta_p = X_p - X_{P^*} = X_p - (X_{п.з} + a) = (X_p - a) - X_{п.з} = X_m - X_{п.з} \rightarrow \text{фиг.2.3, б}$$

където a определя положението на т.Р спрямо т.М ($a = 0$ при $t.M \equiv t.P$ и $a = r_g$ или $a = x_H$ при $t.M \neq t.P$).

Крайният резултат е грешката от измерване на т.М: $\Delta_M = X_m - X_{п.з}$. Той е изследван в [8] и се формира от две елементарни грешки.

Грешката $\Delta_p = \Delta_M$ в дефиниране на програмната точка води до неправилно съгласуване на т.Р и т.М, което отнема както програмната, така траекторията на размерообразуващата точка и съответно до грешка в размерите при обработване на повърхнините на детайлите.



Фиг.3. Размерна връзка на измерване по ос X

Грешките от предварителното настройване на инструмента, неговото износване, топлинните деформации в технологичната система променят положението на т.М и за да се компенсират се извършва периодично поднастриване за съгласуване на т.М и т.Р. Размерната връзка на измерване по ос X е показана на фиг.3, като по ос Z тя е аналогична. В разглеждания случай е прието номинално двете точки М и Р да съвпадат ($a=0$).

След периодично измерване на инструмента т.М е изместена от т.Р напр. от износването h_r , и при контрола се получава:

$$X_{п.з} - X_p \neq a \neq 0$$

Това означава, че е нарушено съгласуването между т.М и т.Р и се внася корекция $\Delta_X = X_{п.з} - X_p - a$ ($X_{п.з}$ е позицията на задействане на измервателното устройство).

Размерът на контролираната повърхнина се явява затварящо звено на измервателната рамерна верига $A_\Sigma = A_1 - A_2 \pm A_3$. Размерът $A_1 = X_{M,K} = X_{п.з}$ определя позицията на т.М при конкретното измерване спрямо оста на размерообразуване. При измерването на повърхнината, т.М се явява контролна точка от режещия инструмент и внася разглежданата по-горе грешка Δ_M . Размерът A_2 определя разстоянието от позицията на задействане на измервателното устройство до позицията на възникване на сигнала за докосване на инструмента в контролираната повърхнина. Разглежданият размер ще влияе върху измерването с позиционните грешки, свързани с преместването на супорта между позицията на измерване на инструмента до позицията на неговото докосване в контролираната повърхнина. Този размер включва и специфичната грешка, свързана с регистрирането на точка (точки) от контролираната повърхнина до оста на размерообразуване при докосване. Съобразно характерът на координатните измервания, като номинален профил на напречното сечение се приема средната окръжност на реалния профил. За да се определи диаметра на средната окръжност е необходимо да се определят координатите на достатъчен брой точки от реалния профил за да се отчете влиянието на отклонението в макро и микропрофила върху неговата действителна стойност. Определянето на стойността на тази специфична грешка налага допълнителни теоретични и експериментални изследвания за нейното обосноваване.

Третият размер A_3 е несъосността между оста на обработената повърхнина и оста на въртене по време на измерването. Той е резултат от непрекия характер на контрола. Измерва се разстоянието на точка (точки) от контролираната повърхнина до оста на размерообразуване, а размерът, който трябва да се определи е разстояние между точките от профила до неговата ос на симетрия. Теоретично докосването на инструмента в повърхнината трябва да е в т.М. Поради отклонения в профила и наличието на неотделени частици материал, докосването може да стане в друга точка от режещата част (фиг.2.4). Свързаните с размера A_2 грешки определят точността на измерване чрез докосване. Сумарната грешка на този непрек контрол включва:

$$\Delta_{\text{ии}} = 2 \left(\varepsilon_{\text{неотч,ии}} + \varepsilon_{\text{поз,ии}} + \sqrt{\omega_{\text{ки}}^2 + \omega_{\text{уиг}}^2 + \omega_{\text{рг}}^2 + 3(f_{\text{утд}}^2 + f_{\text{тдв}}^2)} \right) \\ = 2(\varepsilon_{\text{неотч,ии}} + \varepsilon_{\text{поз,ии}} + \omega_{\text{ии}})$$

където резултантната случайна грешка $\omega_{\text{ии}}$ е:

$$\omega_{\text{ии}} = \sqrt{\omega_{\text{ки}}^2 + \omega_{\text{у.иг}}^2 + \omega_{\text{р.г}}^2 + 3(f_{\text{у.т.д}}^2 + f_{\text{т.дв}}^2)}$$

Специфичните грешки на схемата на измерване са:

$\varepsilon_{\text{неотч,ии}}$ – неотчетените грешки при измерване на инструмента;

$\varepsilon_{\text{поз,ии}}$ – постоянна грешка от позициониране (отклонението от зададената позиция при измерване на инструмента). Съвременните машини имат възможност тя да бъде компенсирана параметрично. Разработени са различни нескъпи устройства [2, 4, 6, 7, 8, 9], които позволяват тази грешка да бъде определена много точно. В израза е посочена отделно, тъй като може да бъде една от съществените грешки, влияещи на точността на измерване.

$\omega_{\text{ки}} = \sqrt{\omega_{\text{тиг}}^2 + \omega_{\text{д.поз}}^2 + \omega_{\text{отч}}^2}$ – характерна грешка при координатните измервания, включваща случайните грешки на измервателната глава $\omega_{\text{тиг}}$, на динамичната грешка от позиционирането на супорта $\omega_{\text{д.поз}}$ и на своевременното отчитане на регистрираната координата $\omega_{\text{отч}}$;

$\omega_{\text{уиг}}$ – поле на грешката при извеждане на ТИГ в позицията на измерване (отчита се само при подвижно установяване на ТИГ);

$\omega_{\text{рг}}$ – грешка от позициониране на револверната глава;

$f_{\text{утд}}$ – грешка, определяща изместването на позицията на действие на ТИГ спрямо оста на въртене в резултат на топлинните деформации;

$f_{\text{тдв}}$ – топлинните деформации в частта от винта, определена от размера A_2 .

За сумарната грешка при измерване на детайла посредством инструмента се получава:

$$\Delta_{\text{и,д,и}} = 2(\Delta_{\text{неотч,}\Sigma} + \Delta_{\text{поз,}\Sigma} + \sqrt{\omega_{\text{и,и}}^2 + \omega_{\text{и,д,и}}^2}) = \\ 2(\Delta_{\text{неотч,}\Sigma} + \Delta_{\text{поз,}\Sigma} + \sqrt{\omega_{\text{и,и}}^2 + \omega_{\text{д.поз}}^2 + \omega_{\text{р.к}}^2 + \omega_{\text{проф}}^2 + \omega_{\text{рбп}}^2})$$

,където $\omega_{\text{и,и}}$ е полето на случайната грешка при измерване на детайла с инструмента е:

$$\omega_{\text{и,и}}^2 = \omega_{\text{д.поз}}^2 + \omega_{\text{р.к}}^2 + \omega_{\text{проф}}^2 + \omega_{\text{рбп}}^2$$

където $\omega_{\text{р.к}}$ – поле на грешката при регистриране на контакта между инструмента и детайла;

$\omega_{\text{проф}}$ – поле на грешката, породена от макро- и микроотклоненията на профила в контролираното сечение;

$\omega_{\text{рбп}}$ – поле на грешката от радиалното биене на измервания профил.

$$\Delta_{\text{неотч},\Sigma} = \varepsilon_{\text{неотч},\text{ии}} + \varepsilon_{\text{неотч},\text{иди}}$$

$$\Delta_{\text{поз},\Sigma} = \varepsilon_{\text{поз},\text{ии}} + \varepsilon_{\text{поз},\text{иди}}$$

където $\varepsilon_{\text{неотч},\text{иди}}$ и $\varepsilon_{\text{поз},\text{иди}}$ са неотчетените и позиционните грешки при измерване на детайла с инструмента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Върху точността на измерване с режещия инструмент влияние оказва несъвпадането на размерообразуващата и програмната точки. За тяхното съгласуване е необходимо периодично поднастройване на режещия инструмент.

Грешката при измерване на обработената повърхнина е разликата между средния диаметър на номиналния профил и диаметъра, определен посредством измерването. На базата на направения предварителен анализ, специфичните елементарни грешки, свързани с разглеждания метод, могат да се групират по следния начин:

- грешка, породена от нарушаване или разсейване на електрическата проводимост между инструмента и обработвания материал;
- грешка от влияние на профила на обработената повърхнина върху измервания размер;
- грешка от несъосност между оста на контролираната повърхнина и оста на въртене на вретеното;
- грешка от навлизане на върха на инструмента в падините на грапавините на контролираната повърхнина.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Енчев М., С. Колева. Приложение на измерването на детайла посредством режещия инструмент. В: Научна конференция, Сливен, 2013
- [2] Gao W., Satoshi K., Tadotshi N., A new multiprobe method of roundness measurements, Precision Engineering, 1996;
- [3] Koleva C., M. Enchev, T. Szecsi. Automatic dimension measurement on CNC lathes using the cutting tool. IN: CIRP ICME '14 - 9th CIRP International Conference on INTELLIGENT COMPUTATION IN MANUFACTURING ENGINEERING, Innovative and Cognitive Production Technology and Systems, Capri, Italy, 23 - 25 July 2014, 2014
- [4] Liu Z. P. Venuvidov, Error Compensation in CNC Turning Solely from Dimensional Measurements of Previously Machined Parts, Annals CIRP, 48(1), p.429-432, 1999;
- [5] Nenov G., T. Szecsi. Increasing CNC machine tool productivity by using tool-part touch control.// Robotics and Computer Integrated Manufacturing PERGAMON - ELSEVIER IRELAND, 2002, No 18, pp. 291-296
- [6] Smid P., CNC Control Setup for Milling and Turning: Mastering CNC Control Systems, Library of Congress Catalog-in-Publication Data, Industrial Press, Inc. New York, USA, 2010;
- [7] Yandayan T., M. Burdekin, In-process dimensional measurement and control of workpiece accuracy, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 37, Issue 10, p.1423-1439, October 1997;
- [8] Енчев М., Автоматично размерно настройване и поднастройване на стругове с ЦПУ, Дисертация за присъждане на ОНС Доктор, Русе, 2006;
- [9] Енчев, М. Относно точността на автоматичното поднастройване при струговане. В: IV Международен конгрес по машиностроителни технологии, т.3, с.7-9, Варна, 2006

За контакти:

гл.ас. д-р Светлана Колева, катедра "Технология на машиностроенето и металоурежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 653, e-mail: svetla@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.