

Анализ на влиянието на грешките от разположението и профила на повърхнината при контрол с режещия инструмент

Светлана Колева

Analysis of the influence of the errors of the position and the profiles of the surface during control using the cutting tool: The paper deals with the automatic inspection of the machined workpiece on CNC lathes using the cutting tool. Grouping of the errors influencing the measurement accuracy based on the selected method is performed. Analysed is the influence of the geometrical errors of the spindle unit and its mechanical load that generate scatter of the macro and micro profiles and orientation of the machined surfaces. Analysed are the factors leading to the differences between the trajectories of the spindle during machining and inspection. A means to estimate the resulting inspection error based on the selected method is developed.

Key words: CNC lathes; automatic control; on-machine measurement.

ВЪВЕДЕНИЕ

Извършването на автоматичен контрол върху машината чрез използване на специални измервателни устройства е свързано с определен разход на машинно време (подготвително и спомагателно), което снижава производителността и увеличава себестойността на технологичните операции [1, 4]. Освен това той е съпроводен и с редица ограничения по отношение приложимостта на схемите на измерване. За избягване на горните недостатъци и ограничения се прилага измерване на детайла посредством режещия инструмент, обработил повърхнината [2, 3]. Използват се две независимо функциониращи измервателни системи – за измерване на детайла и за измерване на инструмента. Методът се основава на възникването на електрическа верига при съприкосновението на инструмента и детайла. В момента на възникване на контакт между тях към системата за ЦПУ се подава команда за регистриране на координатата на позицията докосване. Тъй като отчитането е спрямо оста на въртене, регистрираната координата съответства на диаметъра на обработената повърхнина. При контролиране на осови размери отчитането е спрямо базова повърхнина или началото на координатната система.

ИЗЛОЖЕНИЕ

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

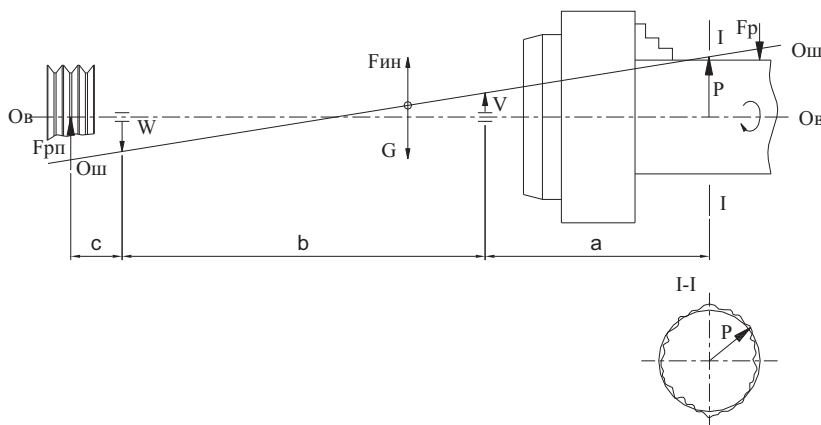
- грешка породена от нарушаване или разсейване на електрическата проводимост между инструмента и обработвания материал;
- грешка от влияние на макро- и микропрофила върху измервания размер;
- грешка от несъосност между оста на обработената повърхнина и оста на въртене на вретеното;

По-нататък се разглежда формирането на грешките от разположението на повърхнината и от влияние на макро- и микропрофила върху измервания размер.

Теоретичният анализ на двете грешки се разглежда паралелно поради това, че те са свързани с вретения възел, определящ оста на формо- и размерообразуване и точността на въртене на вретеното. Положението на вретеното в пространството – неговата ос – се определя от лагуването му (фиг.1). Външните писти на лагерните гривни са елементите, формиращи оста на въртене на вретеното, явяваща се и ос на формо- и размерообразуване. Грешките в лагуването водят до отместване на оста на вретеното (линия Ош-Ош) спрямо оста на въртене (линия Ов-Ов) – двете оси се кръстосват. Отместването в опорите (вектори W и V) влияе в различна степен върху отместването на оста на детайла (вектор P) в зависимост от разположението

на напречното сечение (I-I) спрямо лагерните опори. Предавателното отношение зависи от разстоянието между опорите b и от разстоянието a на разглежданото напречно сечение до предната лагерна опора. Освен това вретеното е натоварено от силите на рязане F_r , натоварването от ремъчната предавка F_{rp} и от центробежните сили от неуравновесената маса на съвкупността от въртящите се елементи, свързани с вретеното. Резултантното натоварване, водещо до обикане на хлабините в определена посока и контактните деформации в лагерните опори се отразяват също на големината на векторите W и V .

Системата, регистрираща докосването (контакта) между инструмента и обработваната повърхнина, функционира при въртене на вретеното с определена



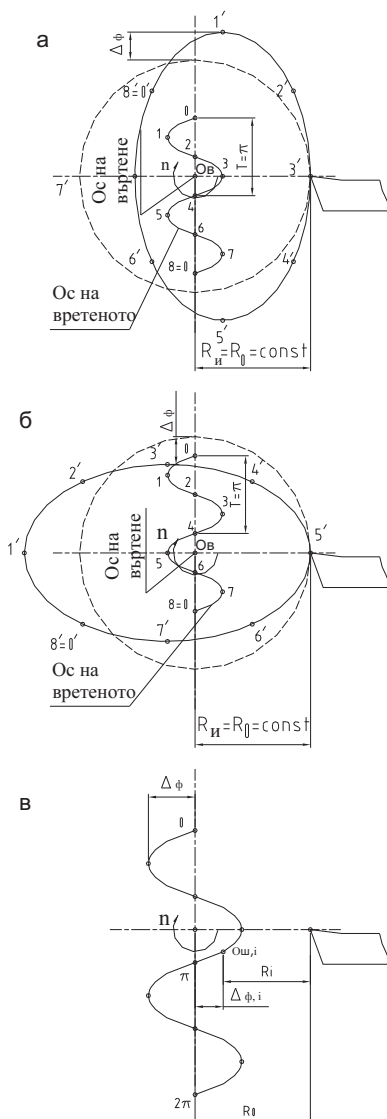
Фиг.1. Положение на вретеното в пространството

честота за създаването на маслен слой, който да го изолира от корпуса на машината. Разликата в траекториите, описвани от вретеното по време на контрола и по време на обработване води до промяна в положението на точките от профила при контрола спрямо полученото в процеса на формо- и размеробразуване на повърхнина. Разликата се дължи на различното силово натоварване. При контролът освен, че не действат силите на рязане, ако той се извършва при други честоти на въртене на вретеното се променят и инерционните сили. Това е основната причина за формиране на разглежданата грешка.

Целта на анализа е да определи резултантното действие на разглежданите грешки върху точността на измерване с режещия инструмент. Известно е, че формирането на профила в напречно сечение е в резултат на сумарното въздействие на грешки, които са хармоници от различен порядък. Те водят до относително колебание на обработвания детайл спрямо режещия инструмент. От гледна точка на влиянието им върху точността на измерване с режещия инструмент е целесъобразно грешките да бъдат групирани по следния начин:

- грешки, които се повтарят във всеки оборот на детайла (вретеното);
- грешки, които са с период по-голям от един оборот – такива са грешките, които внася ремъчната предавка на вретеното;
- грешки, имащи случайно въздействие – те са в резултат от променливите сили на рязане и нееднородна твърдост на материала.

Към първата група се отнасят грешките във формата на лагерните отвори, лагерните шийки на вретеното и лагерните гривни. Това обикновено са нискочестотни хармоници и са с най-голяма амплитуда.



Фиг.2. Формиране на отклонението във формата, породено от хармоник от втори порядък

същото, както при размерообразуването на профила, то и разстоянието на контролираната точка до оста на въртене ще бъде същото както при обработването. Следователно грешката във формата и разположението няма да оказва влияние върху точността на измерване с разглеждания метод.

Със значително по-малки амплитуди са грешките от търкалящите се елементи на лагерите (сачми и ролки). Предвид факта, че за един техен оборот около лагерните писти те многократно се завъртат около собствената си ос, създават високочестотни хармоници. Към тази група се отнасят и грешките, породени от центробежните сили от неуравновесената маса на заготовката.

Постоянните и променливи компоненти на векторите W и V ще влияят върху разположението на вретеното. Средната им стойност води до отместване на оста на вретеното спрямо оста на формо- и размерообразуване. По направление на размерообразуването отклонението е косинусоидална функция с период 2π и поражда ексцентрицитет на сечението спрямо оста на вретеното. Променливата съставна на същите вектори води до отклонение във формата.

На фиг.2 е представено формирането на отклонението във формата, породено от действието на хармоник от втори порядък с период $T = \pi T = \pi$. На фиг.2,а и фиг.2,б е показано формирането на точки от профила за две конкретни отклонения на оста на вретеното спрямо оста на въртене. При това разстоянието на всяка точка от профила спрямо оста на формо- и размерообразуване е:

$$R_0 = R_i + \Delta\phi_i = \text{const},$$

където R_i е разстоянието от размерообразуващата точка на инструмента до i -тата точка от траекторията на вретеното.

$\Delta\phi_i$ – отклонение на оста на вретеното в i -тата точка при обработване.

Връзката между отклонението на вретеното и разстоянието на точките от профила до оста на въртене ще е валидно и хармониците от по-висок порядък, включително и за хармоник с период 2π , пораждащ ексцентрицитет. При условие, че отклонението на траекторията на оста на вретеното по време на контрола остава

Грешките с период по-голям от един оборот се пораждат от натоварването в ремъчната предавка. Причина за тях са радиалното биене на профилите на двете ремъчни шайби, отклоненията в ъгъла на каналите им, различната плътност на ремъка и грешката в профила на клиновете. Това води до периодично разсейване на натоварването, което създава ремъчната предавка, при условие, че ремъчната шайба е директно монтирана върху вретеното. Периодичността зависи от предавателното отношение на предавката и междуосовото разстояние (дължината на ремъка). Поради това, че натоварването на вретеното е в резултат на действието на няколко компонента от предавката, резултантното отклонение ще се получава като сума от няколко хармоника. Резултантният хармоник е с период по-голям от 2π , и ще поражда различни по амплитуда и фаза отклонения на вретеното на всеки оборот. Това ще създава различни отклонения във формата на сеченията получавани в рамките на периода. По същата причина не може да има еднакви отклонения във траекторията на вретеното по време на обработване и иамерване. От това следва, че тази грешка ще влияе на точността на измерване с режещия инструмент.

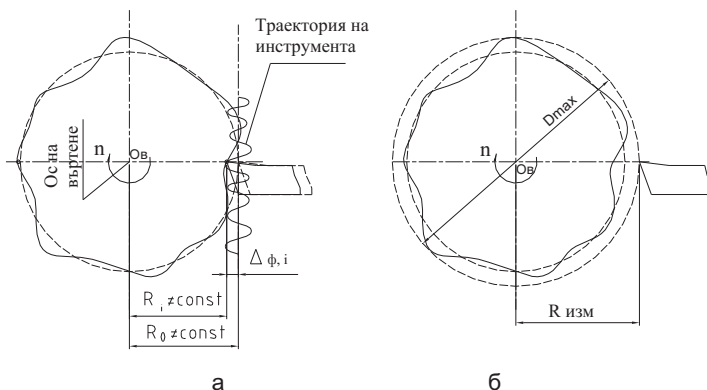
Формирането на профила под действие на грешките от третата група е показано на фиг.3. Отклоненията на профила се пораждат от случайното разсейване на твърдостта на заготовката (петниста твърдост), от разсейване на стабилността в установяването на заготовката и др. имащи случайно проявление. Тези грешки не са свързани с точността на въртене на вретеното, т.е. те не оказват влияние на неговото положение спрямо оста на формо- и размерообразуване. Те предизвикват отклонение на инструмента и заготовката от номиналното им положение спрямо оста на размерообразуване – колебание, породено от няколко хармоника. В резултат на това размерообразувания връх на инструмента се намира спрямо оста на въртене на разстояние $R_{i'}$, различно от номиналното R_0 . За тях може да се запише:

$$R_0 = R_i + \Delta\phi_i \neq const$$

Случайното проявление на тези фактори ще се отразява на точността на измерване. При измерване на детайла с режещия инструмент ще се получи сигнал за докосване на инструмента до повърхнината по максималния диаметър. Големината на диаметралната грешка е

$$2\Delta = 2(R_0 - R_{max}),$$

съответстваща на средната стойност на амплитудата на действащите хармоници.



Фиг.3. Формиране на отклонението във формата, породено от изместване на инструмента от номиналното му положение

От направения анализ следва, че грешките от първите две групи ще оказват влияние върху точността на измерване с инструмента само, ако траекторията на вретеното по време на обработването и контрола не съвпадат. Причината за несъвпадането е различието в силовото натоварване по време на обработване и контрол. По време на обработване освен силите на рязане действат центробежните сили и натоварването от ремъчната предавка. При контрола условията се променят от това, че отпадат силите на рязане и от честотата на въртене на вретеното. Освен силовото натоварване съществено влияние има и хлабината във вретения възел.

Грешката на измерване с режещия инструмент, породена от разположението и отклонението във формата на контролираната повърхнина е равна на:

$$\Delta_u = \Delta_1 + \Delta_2,$$

където Δ_1 е грешка, резултат от сумата от хармониците, действащи по време на обработването:

$$\Delta_1 = \sum (a_i \cos(k\varphi_i + \varphi_0) + b_i \cos(k\psi_i + \psi_0) + \dots + x_i \cos(k\phi_i + \phi_0))$$

$a_i, b_i, \dots, x_i$ – амплитуда на хармониците;

$\varphi_i, \psi_i, \dots, \phi_i$ – текущи ъгли между вектора и оста на размерообразуване;

$\varphi_0, \psi_0, \dots, \phi_0$ – фазови ъгли на хармониците.

Δ_2 – грешка във формата и разположението на повърхнината, породени от случайни фактори.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Влиянието на грешките във формата и разположението на обработените повърхнини върху точността на измерване се определя от степента на несъвпадане на траекторията на оста на вретеното по време на обработване и контрол;

2. Точността на измерване посредством режещия инструмент може да се повиши, ако се намалат хлабините в лагерирането на вретения възел и силовото натоварване от ремъчната предавка. За последното по-съществено е значението на случайното разсейване на силите.

3. Случайните фактори, които водят до изместване на заготовката и инструмента спрямо оста на въртене влияят върху точността на измерване и не зависят от това, дали траекториите на оста на вретеното при обработване и контрол съвпадат.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Енчев М., Автоматично размерно настройване и поднастройване на стругове с ЦПУ, Дисертация за присъждане на ОНС Доктор, Русе, 2006.

[2] Liu Z., P. Venuvinod, V.Ostafiev, On-machine measurement of workpieces with the cutting tool, Integrated Manufacturing Systems, 9/3, 1998, pp.168-172.

[3] 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.

[4] Ostafiev V.A., A.Djordjevich, Machining precision augmented by sensors, INT.J. PROD.RES, 1999, vol.37, N1, pp.91-98.

За контакти:

Светлана Колева, Катедра ТММРМ, Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 653, e-mail: svetla@ru.acad.bg

Докладът е рецензиран