

## Експериментално изследване на влиянието на грешките от разположението и профила на повърхнината при контрол с режещия инструмент

Светлана Колева, Милко Енчев

*Experimental analysis of the influence of the errors of the position and the profiles of the surface during control using the cutting tool: The trajectory of the spindle during machining is different from the trajectory during inspection. This leads to measuring errors when using the cutting tool itself. Performed are experimental investigations for defining the actual value of these errors that influence the forming of the machined profile in the cross sectional direction. Performed is an amplitude-phase-frequency analysis of the experimental results, and the sources of errors are discovered.*

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

### ВЪВЕДЕНИЕ

При автоматично контролиране на размерите при стругово обработване на детайлите може да се използва измерване на детайла с режещия инструмент, обработил повърхнината [1, 2]. При докосване на инструмента до детайла възниква електрическа верига и в този момент към системата за ЦПУ се подава команда за регистриране на координатата на достигнатата позиция. Тъй като отчитането е спрямо оста на въртене, регистрираната координата съответства на диаметъра на обработената повърхнина.

По време на контрол и по време на обработване траекториите, описвани от вретеното са различни. Това 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 и на това, че контролът се извършва при други честоти на въртене.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

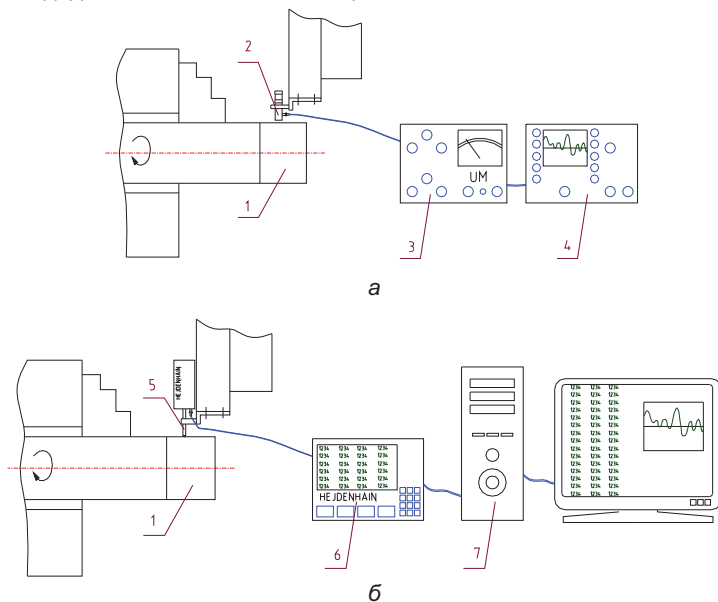
При използването на измерването на детайла посредством режещия инструмент възниква специфичната грешка, свързана с регистрирането на точка (точки) от контролираната повърхнина до оста на размеробразуване при докосване. Съобразно характера на координатните измервания, като номинален профил на напречното сечение се приема средната окръжност на реалния профил. За да се определи диаметъра 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.

Известно е [1], 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.

Извършени са експериментални изследвания за установяване на действителната резултатна стойност на грешките, имащи отношение към формиране на профила в напречно сечение. Те са проведени на три струга с ЦПУ в лабораторията по Технология на машиностроенето към катедра ТММРМ. Обработка се участвък от заготовка 1 (фиг.1), установена в патронник, със елементи на режима на рязане, съответстващи на условията на чисто обработване (табл.1).

Работи се с нож със сменяема твърдостплавна пластина DNMG с радиус при върха  $r_e=0.4\text{mm}$ . След обработване на повърхнината получения размер се измерва на място с цифров микрометър със стойност на 1 деление  $0.001\text{mm}$  в няколко

сечения, като всяко измерване се повтаря неколкократно. Получените отклонения на размера са дадени в колона 7 на таблицата.



Фиг.1. Схеми на опитните установки

Табл.1. Елементи на режима на рязане

Машина	$d$ , [mm]	$n$ , [min <sup>-1</sup> ]	$V_c$ , [m/min]	$ap$ , [mm]	$f_n$ , [mm/rev]	Измерена грешка във формата, [mm]
1	2	3	4	5	6	7
CE063	40	1000	125	0.4	0.12	0.004
CT161	24.5	2000	153	0.4	0.12	0.003
CT201	22.8	1250	90	0.4	0.12	0.006

За измерване положението на оста на вретеното при контрол на детайла, при което отсъства натоварването от силите на рязане се използват две схеми: с индуктивен датчик (фиг.1,а) и с датчик за линейни премествания (фиг.1,б).

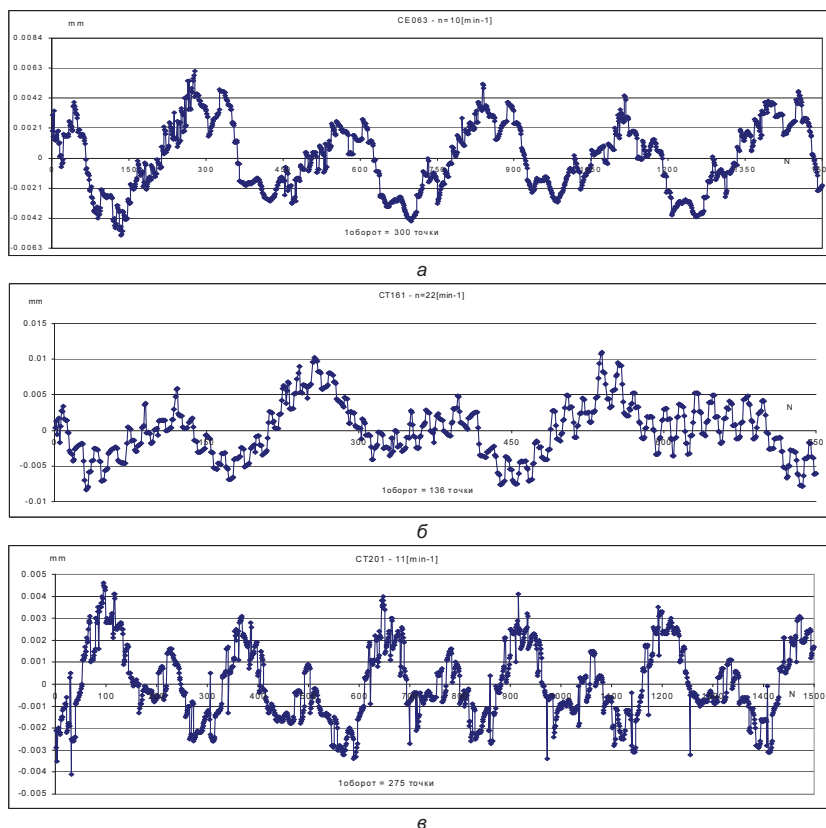
В револверната глава е установен индуктивен датчик 2, сигнала от който се подава към измервателно устройство UM 3, а от него – към осцилоскоп 4. Безконтактното измерване позволява да се установи отклонението на

оста на вретеното при високи честоти на въртене (съответстващи на честотите при обработване). Поради това, че не може директно да се запише отклонението при високите честоти, тяхната амплитуда и честоти се наблюдават с осцилоскопа 4. Освен това измерването с индуктивен датчик осреднява стойностите на отклоненията, което не дава пълна информация за честотния спектър на факторите. За да се избегнат горните проблеми е изследвано отклонението при високи и ниски честоти (10-60min<sup>-1</sup>) на въртене. На практика визуално не се отчита съществена разлика при високите и ниски честоти на въртене. Това се потвърждава и от отчетените с UM (поз.3) горна и долна гранични стойности на отклонението.

За да се определи по-точно големината на отклонението на оста на вретеното и честотната му характеристика, се използва датчик за линейни премествания на фирмата Heidenhain. Датчикът 5 е закрепен в револверната глава като направлението на отчитане съвпада с това на размерообразуване. Сигналът от него

се предава към записващо устройство 6 ND278, свързано с компютър 7. Извършени са измервания на N точки от повърхнината на трите посочени по-горе машини и запис на стойностите през 20ms. Получените графики са представени на фиг.2.

Между двата вида измерване има съответствие по отношение на регистрираните отклонения.

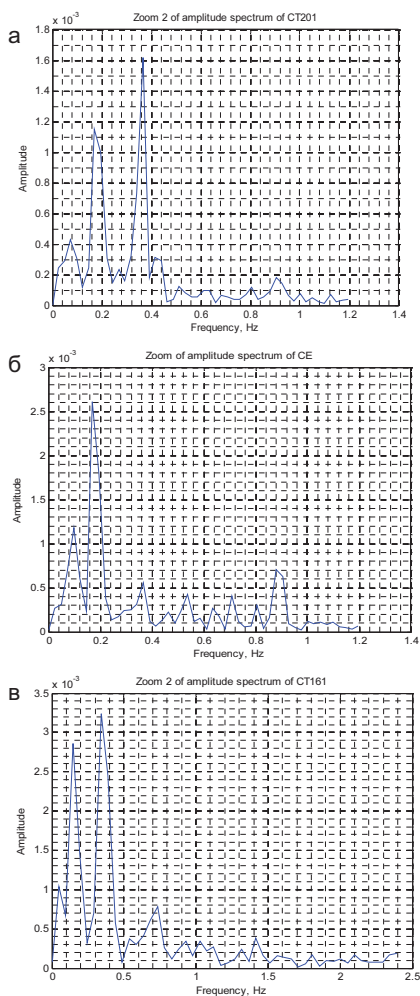


Фиг.2. Траекторията на вретеното, записана с датчик за линейни премествания Heidenhain; а – CE063; б – CT161; в – CT201

Получените отклонения са сума от хармонични колебания и представляват полихармонични сигнали, които се описват с уравнение от вида:

$$s(t) = \sum_{n=0}^N A_n \cos(2\pi f_n t + \varphi_n)$$

Характерно за полихармоничните сигнали е кратността на честотата им спрямо една доминираща, което осигурява повторяемост на сумарния сигнал през определен брой периоди. Оста на вретеното ще описва една и съща траектория през толкова оборота  $j$ , колкото е най-малкото общо кратно (НОК) на честотите (периодите) на съставлящите полихармоничния сигнал хармоници ( $f_i$ ) (респ. период  $T_i$ ) спрямо доминиращия с честота  $f_p$  (респ. период  $T_p$ ) или  $j = \text{НОК}(f_p; f_i) = \text{НОК}(T_p; T_i)$



Фиг.3. Диаграми от амплитудно-честотния анализ: а – CE063, б – CT161; в – CT201

Големината на внасяната при измерване грешка, породена от различната траектория на оста на вретеното, зависи от амплитудата, периодичността и фазовия ъгъл на хармониците. Резултатното отклонение на вретеното ще се получи с максимална стойност  $\Delta = \pm A_i$ , ако в даден момент отклоненията на отделните хармоници съвпадат по посока и имат максимални стойности. При различна периодичност и фаза на хармониците вероятността за получаване на максимална стойност на резултатното отклонение е малка.

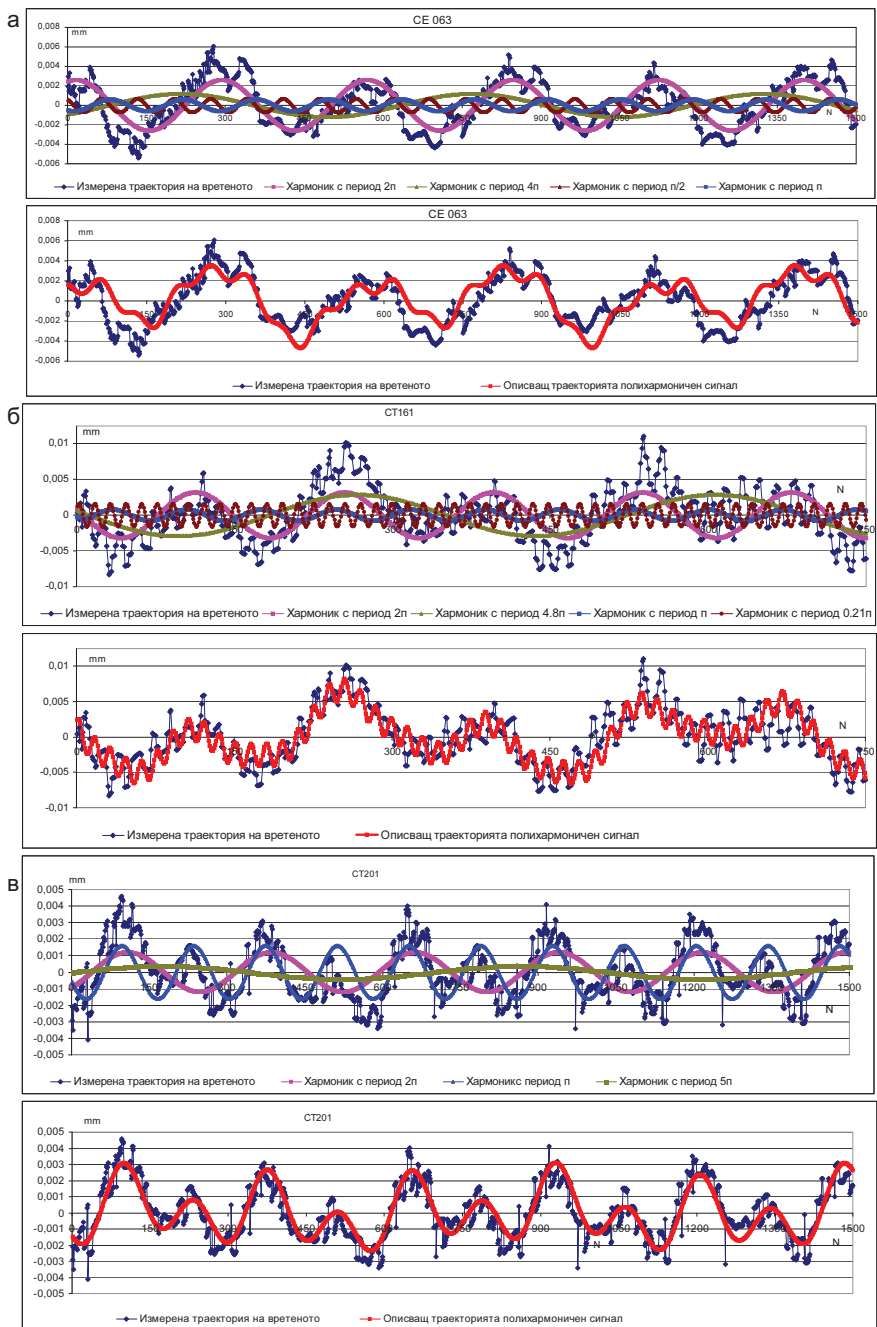
С помощта на софтуерната среда MATLAB е извършен амплитудно-фазово-честотен анализ на получените експериментални данни, имащ за цел определяне на амплитудата  $A$ , фазата  $\varphi$  и честота  $f$  (периода  $T$ ) на съставлящите сигнала хармоници (фиг.3). Това позволява разкриване на източниците на колебанието на оста на вретеното при измерване и степента им на влияние върху точността.

Амплитудите, честотите и периодите на хармониците, определени на база извършения анализ, са дадени в таблица 2. В нея са представени периодите и фазовите ъгли за значимите хармоници. Другите са пренебрегнати поради много малката им амплитуда – под  $0.0004\text{mm}$ .

На следващите фигури (фиг.4, а, б, в) за трите машини са представени хармониците, чиито амплитуди имат значими стойности и отделно – тяхната резултатна стойност, която е наложена върху измереното отклонение на вретеното.

Табл.2. Параметри на хармониците, определени с анализа

За CE63				За CT161				За CT201			
A, mm	$\varphi$ , °	f, Hz	T	A, mm	$\varphi$ , °	f, Hz	T	A, mm	$\varphi$ , °	f, Hz	T
0.0026	70	0.1709	$2\pi$	0.0032	165	0.3418	$2\pi$	0.0016	100	0.3662	$\pi$
0.0012	-100	0.0977	$4\pi$	0.0029	460	0.1465	$4.8\pi$	0.0012	-50	0.1709	$2\pi$
0.0007	120	0.8789	$\pi/2$	0.0016	-70	3.2227	0.21	0.0004	0	0.0732	$5\pi$
0.0006	120	0.3662	$\pi$	0.0008	-40	0.7324	$\pi$				



Фиг.4. Съответствие между единичните и сумарни хармонични сигнали получени от анализа и измерени върху машината

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Хармоникът с период  $T_p = \frac{1}{f_p} = 2\pi$  е доминиращ. Той се проявява като

ексцентрицитет (респ. радиално биене) на обработената повърхнина по време на измерване. Неговата амплитуда (0.001-0.003mm) е най-голяма и съответно ще е с най-голям дял при формиране на грешката при измерване на детайла с режещия инструмент. Източник на тези колебания е биенето на лагерните опори.

2. Хармоникът с период  $\pi$  определя овалността на профила и се наблюдава при трите машини с амплитуда около микрометър. Грешката, която той внася при измерване ще е по-малка от тази на доминиращия.

3. По-високофреkwентните хармоници с период  $T_i = \frac{1}{f_i} < \pi/2$ , които като цяло не

са отразени на графиките, са с малка амплитуда – под 1  $\mu\text{m}$ . Тези хармоници водят до отклонения в микропрофила и регистрирането на такива малки величини при измерване практически не е възможно. Един от вероятните им източници са търкалящите елементи на лагерите.

4. Хармониците с период по-голям от  $T_i = \frac{1}{f_i} > 2\pi$  са с по-ниска амплитуда

(0.0005-0.001mm) и водят до увеличаване на броя периоди, през които настъпва пълно повторение на сигнала (резултантния хармоник), т.е. през които ще се повтаря траектория на оста на вретеното (един цикъл). В резултат на това в зависимост от кой от оборотите ще се извърши регистрирането на сигнала по докосване, ще се отчете различно положение на точките от профила. Източник на тези хармоници е ремъчната предавка – биене на ремъчните шайби, грешки в сечението на каналите и клиновете, плътността на ремъка и др.

5. При определените с амплитудно-честотния анализ характеристики на хармониците това означава за трите машини в разгледаната последователност следните грешки:  $\pm 6.8\mu\text{m}$ ;  $\pm 11.7\mu\text{m}$ ;  $\pm 4.6\mu\text{m}$ .

6. Намаляването на резултантната грешка, водеща до несъвпадане на траекторията на вретеното при обработване и контрол изисква прилагане на специална схема на измерване, максимално редуцираща нейното влияние.

## ЛИТЕРАТУРА

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

[2] Стоянов С., Времеви и честотни особености на свободни трептения при наличие на хлабина, Механика на машините, 2013, брой 1, ISSN 0861-9727.

[3] Nenov G., T.Szecszi. 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] Zhehe Y., Deqing M., Zichen C., Chatter suppression by parametric excitation: Model and experiments// Journal of Sound and Vibration 330 (2011) 2995–3005.

## За контакти:

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

Докладът е рецензиран