
ABOUT THE INFORMATION ASSURANCE OF THE TURNING PROCESS⁴

Assist. Prof. Svetlana Koleva, PhD

Department of Technology of Machine Tools and Manufacturing,
University of Ruse "Angel Kanchev"
Tel.: +359 082888653
E-mail: svetla@uni-ruse.bg

Assoc. Prof. Milko Enchev, PhD

Department of Technology of Machine Tools and Manufacturing,
University of Ruse "Angel Kanchev"
Tel.: +359 082888653
E-mail: menchev@uni-ruse.bg

Master Eng. Emil Belyov, PhD Student

Department of Technology of Machine Tools and Manufacturing,
University of Ruse "Angel Kanchev"
Tel.: +359 082888653
E-mail: emo_belyov@abv.bg

Abstract: *The increase of the effectiveness of technological processes of individual stages in the production of parts – design, implementation and full-scale production, is directly related to their information assurance. It is necessary to systemize, structure data and specify dependencies which will allow to minimize the level of uncertainty when formulating the technological solutions. The paper presents an analysis and research of the interrelations between the inputs and the output parameters of the turning process. The analysis is based on modeling of the interrelations of the various stages and schemes of machining by turning. More specific attention is devoted to the interrelationships between the strength deformations and the productivity of the process, the accuracy of the technological equipment- accuracy and productivity of the process, and accuracy of the previous processing (technological heredity) that vary in other realizations of the technological scheme.*

Keywords: *Technological processes, machining parts, information assurance*

ВЪВЕДЕНИЕ

Информационното осигуряване има за цел подобряване на ефективността на проектирането и реализацията на технологичните процеси (Ahmad N., A. F. A. Haque and A. A. Hasin, 2001, Ciurana J., M. L. Garcia-Romeua, I. Ferrer and M. Casadesu, 2007). Изразява се в съкращаване на времето и разходите на двата етапа (Koleva S, M.Enchev, E. Belyov, 2018, Ostrovskii U.A., 2000). В съвременното моделиране на технологичното проектиране е характерен обобщен подход, без да се конкретизират прецизно особеностите на вида на процесите, етапите на обработване (грубо, чисто, фино обработване), схемите на установяване и др., което създава условия за голямо разнообразие в условията и на висока степен на неопределеност на информацията при вземане на технологичните решения (Krishna P. V., N.V.S. Shankar and B. S. Babu, 2011, Lee B.Y, Y.S Tarng, H.R Lii, 2000, Hagiwara M., 2005). В тази връзка е необходим задълбочен анализ и систематизиране с цел конкретизиране на условията на протичане на технологичния процес. Процесът струговане е изследван теоретично и експериментално, като това е започнало още от средата на миналия век и продължава до днес. Основният акцент е насочен към осигуряването на точността. Независимо

⁴ Докладът е представен в секция Механика и машиностроителни технологии на 25 октомври 2019 с оригинално заглавие на български език: ОТНОСНО ИНФОРМАЦИОННОТО ОСИГУРЯВАНЕ НА ПРОЦЕСА СТРУГОВАНЕ

от това не се разполага с достатъчно точна информация, която да се използва при проектирането и реализацията на струговите операции (Florea E.R., M. Gheorghe, 2015).

ИЗЛОЖЕНИЕ

За оценка на възможностите на различните процеси на обработване с рязане са създадени данни на базата на практическия и експертен опит, даващи информация за икономически целесъобразната точност. Те определят средностатистически възможностите на използваните процеси, без да се отчитат конкретните условия на обработване. Създаден е и аналитичен модел за определяне на сумарната грешка от обработване, в който се отчитат елементарните грешки съпътстващи обработването (Enchev, M, 2006):

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_n + \sqrt{\omega_n^2 + \omega_{cd}^2 + \omega_y^2 + \omega_{poz}^2 + \omega_i^2 + \omega_{td}^2 + \sum \Delta_{\Delta\phi}} \quad (1)$$

Така определена, сумарна грешка е свързана с конкретните условия и е добър подход за прогнозиране и управление на точността. Неговото прилагане изисква да се разполага с достоверни данни за елементарните грешки и законите на тяхното разпределение. Необходимо е да се уточнят някои съвременни особености на процеса струговане, свързани с неговата точност:

1. Струговите операции се изпълняват основно на машини с ЦПУ, включително и в условията на дребносерийно и едросерийно производство, от което следва:

- машините са с по-висока статична и динамична стабилност вследствие на опростена конструкция на вретения възел, прецизни лагери сглобени със стегнатост и с принудително охлаждане, безхлабинно направляване на супортите, висока точност на позиционните движения (Zhilevski, M, 2019);

- прилага се висока концентрация на операциите, което намалява влиянието на грешките от преустановяване върху големината и разсейването на прибавките за следващите преходи;

- получаваните закономерни грешки при предварителното обработване остават със същият характер на въздействие и при окончателно следствие на концентрацията на преходите (обработване без преустановяване);

- възможност програмно да се компенсират систематични грешки;

- програмен език, позволяващ математическа и логическа обработка на данни получавани от вградени устройства на машината за контрол на определени параметри на процеса (точност на размерите, износване на инструментите, натоварване и др.) или свързване с външен компютър за по-сложни обработване на информацията с цел неговото управление.

2. Използват се режещи пластини с покритие, намаляващи относителното износване 2-2,5 пъти.

3. Разработена е спомагателна екипировка с висока точност и стабилност – самоцентриращи и цангови патронници, въртящи се центри, държачи за режещите инструменти.

Подобрената техническа база на процеса струговане повишава неговата надеждност и точност, улеснява реализацията му, като по отношение на точността неговото икономически целесъобразно в основното му приложение за обработване на ротационни повърхнини до 7-ма степен на точност, а при по-леснообработваеми материали – до 6-та. Възможностите на процеса са ограничени по две основни причини:

- минималния слой материал ($a_{p,min}$), който може да се отнеме от обработваната повърхнина се ограничава от радиуса на закръгление r на режещия ръб – $(0,2 \pm 0,05) r$. Това ограничение е свързано с възможността да се коригира размера, когато той не е в рамките на допускателен (Т) при поправим брак, следователно $2a_{p,min} < T$. При твърдосплавните пластини $r=20-30\mu m$, при пластините от кубичен боров нитрид $r=1-3\mu m$, съответно средния минимален изрязван слой 4-6 μm и 0,2-0,6 μm при неизносен режещ ръб.

- осигуряването на точността на формата и взаимното разположение на повърхнините, което е по-значимото ограничение. Точността на размерите се получава по метода на регулирането, а точността на формата и разположението – по метода на взимозаменяемостта.

Последното означава, че ако са изключени другите технологични фактори, точността на формата и разположението се определя от геометричната точност на машината (не се компенсират) и тя става ограничение за възможностите на процеса.

Информационното осигуряване, свързано с прогнозирането и управление на точността, е в пряка връзка с използвания модел, като се отчита алгоритъма на поднастройване и неговото отражение върху модела на осигуряване на точността. Нашите изследвания определят алгоритъма на поднастройване с пропорционални импулси като най-рационален за условията на гъвкавите производства (Enchev, M, 2006):. Той може да се прилага както при ръчно така и при автоматично поднастройване. При неговото прилагане и отчитане на анализирани по-горе особености на процеса струговане, получаването на резултатната грешка на окончателния преход обработването се описва със следния математичен модел

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_n + \omega_m \sqrt{q^2 I^2 + 1} + \sum \Delta_{\Delta\phi} \quad (2)$$

където $\omega_m = 2 \sqrt{\omega_{m.п}^2 + \omega_{рг.п}^2 + \omega_{с.д}^2}$ е сума от случайните грешки на позициониране на машината ($\omega_{м.п}$), на револверната глава ($\omega_{рг.п}$) и силовите деформации ($\omega_{с.д}$).

$\Delta_n = \pm 1,1 \sqrt{\Delta_{изм}^2 + \Delta_{алг}^2}$ - постоянна грешка в настройването създадена от неизключените систематични грешки, свързани с измерването на контролираните размери и на алгоритъма. При сумирането съставните на тази грешка се приемат, като случайни величини разпределени равномерно и е определена с вероятност $P=0,95$. Грешката $\Delta_{алг}$ се определя като разлика между действителната средна интензивност (тренд) a_{cp} на систематичната грешка и прогнозната $a_{пр}$, която е въведена като корекция на настроенния размер

$$\Delta_{алг} = \frac{\ell a_{cp}}{b} - \frac{\ell a_{пр}}{b}, \quad (3)$$

където $\ell = 1, 2, 3 \dots k$ е броя детайли през, които се извършва поднастройването.

$\omega_n = q I \omega_m$ – поле на настройване (границите, в които се разсейва центъра на ω_m), като q отчита филтрацията на случайните грешки (ω_m) при конкретно избран коефициент на поднастройване b . Стойността на q се изчислява от израза $q = 0.2 + 0.8b$, определен с компютърна симулация на процеса поднастройване (Enchev, M, 2006).

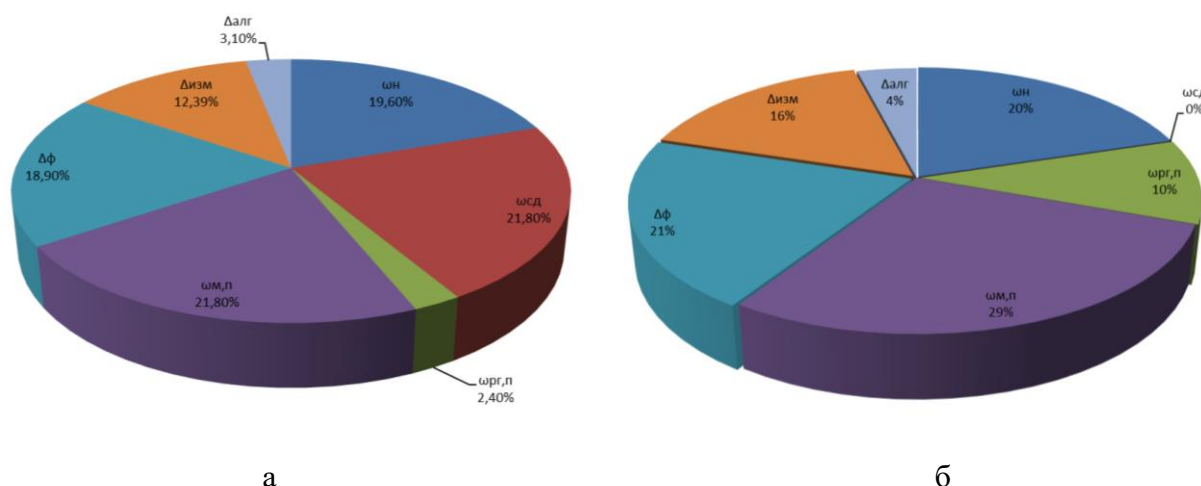
Моделът представя грешките в размерно настроена технологична система, в която са компенсирани действащите систематични грешки, включително средната грешка във формата на надлъжното сечение. Остава да действа постоянна грешка Δ_n , отместваща центъра на групиране на размерите спрямо настроенния размер и грешките, които не могат да се компенсират (грешката в размера от отклонението във формата в напречното сечение $\Delta_{\Delta\phi}$ и случайните грешки).

С цел установяване на проблемите, свързани с осигуряване на точността, се разглеждат два конкретни варианта при различни стойности на определящите грешки. Стойностите на зададените грешки (таблица 1) са реални и достоверни, като са отчетени съвременните данни на фирмите, произвеждащи металорежещи машини, на научни изследвания на отделните грешки, включително наши изследвания и наблюдения на реализирани технологични процеси. Вариантите симулират два процеса при минимални и максимални гранични стойности на действащите грешки, при точно обработване по 7 степен и 6 степен при по-лесно обработваеми материали и стабилна технологична система. Съответно точностните параметри на оборудването се отнасят за тези технологични условия. Всички грешки в таблицата са представени в микрометри (mm).

Таблица 1. Варианти на процеси при различни стойности на определящите точността на струговото обработване грешки в mm

некомпенсирани систематични грешки		грешка във формата	грешка в позициониране на машината	грешка в позициониране на револверната глава	грешка от силови деформации	коэффициент на	коэффициент на филтрация	Коефициент, отчитащ влиянието на измерване	постоянна грешка в настройването	мигновено поле на случайните грешки	случайно поле на настройване	сумарна грешка на обработването	сумарна случайна грешка	коригирана сумарна грешка при m=0,75
Дизм	Далг	Δφ	ωм,п	ωр,п	ωсд	b	q	l	Δн	ωм	ωн	ΔΣ	ωΣ	Δ'Σ
±1	±0,5	3	±1,5	±0,5	±1,5	0,5	0,6	1,1	±1,25	8,7	5,7	15,9	10,4	19,9
±2	±1	5	±2,5	±1,5	0	0,5	0,6	1,2	±2,45	11,7	8,4	24,3	14,4	30,4

На фиг.1 е представено графично разпределението на съставните грешки за двата варианта, дадени в таблица 1.



Фиг. 1. Разпределение на съставните грешки за двата варианта
а). първи вариант б). втори вариант

В разглеждания модел не са отчитат следните грешки:

- ъгловите топлинни деформации на вретеното, което се отразява на грешката във формата в надлъжно сечение;
- промяната на стабилността от топлинните деформации в лагерирането на вретеното;
- променливата стойност на интензивността (тренда) на систематичните фактори, топлинни деформации в технологичната система и от износването на инструмента;
- промяната на размерите от случайното разсейване на температурата на детайла, вследствие разсейване на механичните характеристики на материала и условията на охлаждане;
- грешки, породени от отклонение на приетите теоретични закони на разпределение (нормален и равната вероятност), включително и често срещаната асиметрия в тях.

Влиянието на тази група от грешки не е отразено в модела поради две причини – неговото опростяване и лесно приложение за производствени условия и основно поради трудното събиране на данни за създаващите ги променливи фактори. Тяхното изключване от модела не намалява значимо неговата точност, защото стойностите им са незначителни или малки при основното приложение на струговането. В случаите, когато се предполага някой от горните фактори да има значимо влияние, се вземат мерки за неговото редуциране.

Основният фактор, определящ точността на модела, е степента на неопределеност на данните използвани при изчисляване на резултантната грешка. Моделът е статистически и

изисква данни, определени с нужната доверителна вероятност, което е практически неизпълнимо в производствени условия. Данните, свързани с позиционните грешки на машината, са фирмени и се отнасят за даден модел, като не са обвързани с конкретната му реализация и се променят в процеса на експлоатация от износване и недопустими претоварвания или колизии. За друга част от технологичните грешки, като интензивност на износването и силови деформации липсват систематизирани данни, които да дават възможност при конкретни условия на процеса и технологичната система да се определят техните стойности с необходимата достоверност.

За повишаване на надеждността на осигуряваната точност при неизвестна неопределеност на модела се налага изчислената резултантна грешка Δ_{Σ} да бъде увеличена - $\Delta'_{\Sigma} = m\Delta_{\Sigma}$. Ако се изходи от прилаганото при статистическото регулиране на точността съотношение $\Delta_{\Sigma} = (0,75 \div 0,85)T$, стойността на поправъчния коефициент е $m = 1,17 \div 1,33$. Стойността на m е функция на степента на неопределеност, като при по-строга регламентирани условия на обработване и априорна информация от аналогични процеси той намалява. В хода на технологичния процес той също се коригира, ако се събира актуална информация за неговата точност.

ИЗВОДИ

1. Математичните модели, използвани за изчисляване на точността, я прогнозираят засага с недефинирана точност, но те са средство за определяне на очакваната точност, макар и с приближение. Позволяват да се открият причините, свързани с несъответствия между получаваната и изчислената резултантна грешка и определят тежестта на факторите, влияещи върху точността, което е важно за регулирането ѝ.

2. Липсата на методика за определяне диапазона на неопределеност при моделиране на точността изисква въвеждане на запас от точност, ограничаващ производителността. Уточняването на действителната точност на процеса налага в началната му фаза по-строга проследяване и след това с коригиране на режими и периодичността на поднастройване, достигане до оптималната производителност.

3. Недостатъчната конкретна и систематизирана информация за силовите деформации и интензивността на износване на режещите инструменти най-силно снижават точността на моделиране;

4. Точността на данните за интензивността на износване на режещите инструменти влияе значимо и върху грешката определяща размерното настройване. Тази грешка води до нарастване на постоянното изместване на центъра на групиране на размера особено с увеличаване периода на поднастройване. Противоположното влияние на коефициента на поднастройване върху постоянната и случайната съставна на настроеността не позволява намаляване на сумарната ѝ стойност. Сумарната грешка в настроеността има съществен дял в резултантната грешка – 20-25%.

REFERENCES

Ahmad N., A. F. A. Haque and A. A. Hasin, Current trend in computer aided process planning, International Conference The Institution of Engineers, Bangladesh Mechanical Engineering Division 25-27 October, 2001.

Ciurana J., M. L. Garcia-Romeua, I. Ferrerb and M. Casadesu, " A model for integrating process planning and production planning and control in machining processes ", Robot Computer Integrated Manufacturing systems (2007).

Enchev, M, Avtomatichno razmerno nastrojvane i podnastrojvane na strugove s CPU, Ruse, 2006 (**Оригинално заглавие:** Енчев М., Автоматично размерно настройване и поднастройване на стругове с ЦПУ, Русе, 2006).

Florea E.R., M. Gheorghe, Structure and Components of a Turning Database System, Applied Mechanics and Materials (Volume 760), Advanced Technologies in Designing and Progressive Development of Manufacturing Systems, 451-456, 2015.

Hagiwara M., Optimization of machining performance in contour finish turning operations, Kentucky Master's Theses, 2005;

Koleva S, M.Enchev, E. Belyov, About the information assurance of technological processes by machining parts, Proceeding of University of Ruse - 2018, volume 57, book 2.1.

Krishna P. V., N.V.S. Shankar and B. S. Babu, Feature based modelling and automated process plan generation for turning components, Advances in Production Engineering & Management 6 (2011) 3, 153-162.

Lee B.Y, Y.S Tarng, H.R Lii, An investigation of modeling of the machining database in turning operatio, Journal of Materials Processing Technology 105(1-2):1-6, September 2000.

Ostrovskii U.A., Tehnologicheskoe obespechenie sinteza struktur procesov izgotovleniq detalej v mashinostroenii, Moskva, 2000 (**Оригинално заглавие:** *Островский Ю.А., Технологическое обеспечение синтеза структур процессов изготовления деталей в машиностроении, Москва, 2000*).

Zhilevski, M, Izsledvane I modernizaciq na strugovi mashini s cifrovo-programno upravlenie, Sofiq, 2019 (**Оригинално заглавие:** *Жилевски М., Изследване и модернизация на стругови машини с цифрово-програмно управление, София, 2019*).

<http://www.enterprisefeatures.com/6-important-stages-in-the-data-processing-cycle/>, 07.10.2019;

<http://cl.rushkolnik.ru/docs/5109/index-20107-21.html>, 07.10,2019

Тази публикация е разработена във връзка и с подкрепата на проект 2019-ФМТ-02 от Фонд научни изследвания на Русенския университет „А. Кънчев”.