

TECHNOLOGICAL ASSURANCE OF ACCURACY IN THE TURNING OF DETAILS ON CNC MACHINES¹⁰

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

PhD Student Kristian Veleв

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

Abstract: Technological assurance of accuracy is a task at the stages of technological design and its management in the course of the process. The basis of the synthesis of technological solutions is the availability of reliable input information is associated with accuracy. The degree of its uncertainty is decisive for the effective implementation of the process. The paper analyzes the forms of providing this information and proposes a mathematical model for predicting turning accuracy. It allows to predict or estimate the accuracy obtained in the specific conditions, taking into account the action of the primary errors and their compensation during the process.

Keywords: Information assurance, Turning, Accuracy.

ВЪВЕДЕНИЕ

Във връзка с преодоляване на недостатъците, свързани с подходите за осигуряване на точността, прилагани при конвенционалното проектиране на технологичните процеси, науката разработва инструменти за нейното прогнозиране, базирани на моделирането на процесите. Те се реализират със средствата на съвременните информационни технологии. Посредством моделиране на връзката между получавания размер и входните фактори може да се прогнозира неговата вероятностна стойност. Освен това с моделирането е възможно обосновано да се зададат условията на обработване (режими, параметри на технологичната система и околната среда).

При технологичното проектиране моделирането на точността има приложение в следните случаи:

- надеждно осигуряване на точността, изключващо изискването за висока квалификацията на технолога;
- за оценяване на точността при обработване в условия, различни от нормалните, в следствие на целесъобразно приети нетрадиционни технологични решения;
- оптимизация на изходящите параметри на процеса;
- за верификация на технологичните решения при автоматизираното проектиране на технологичните процеси.

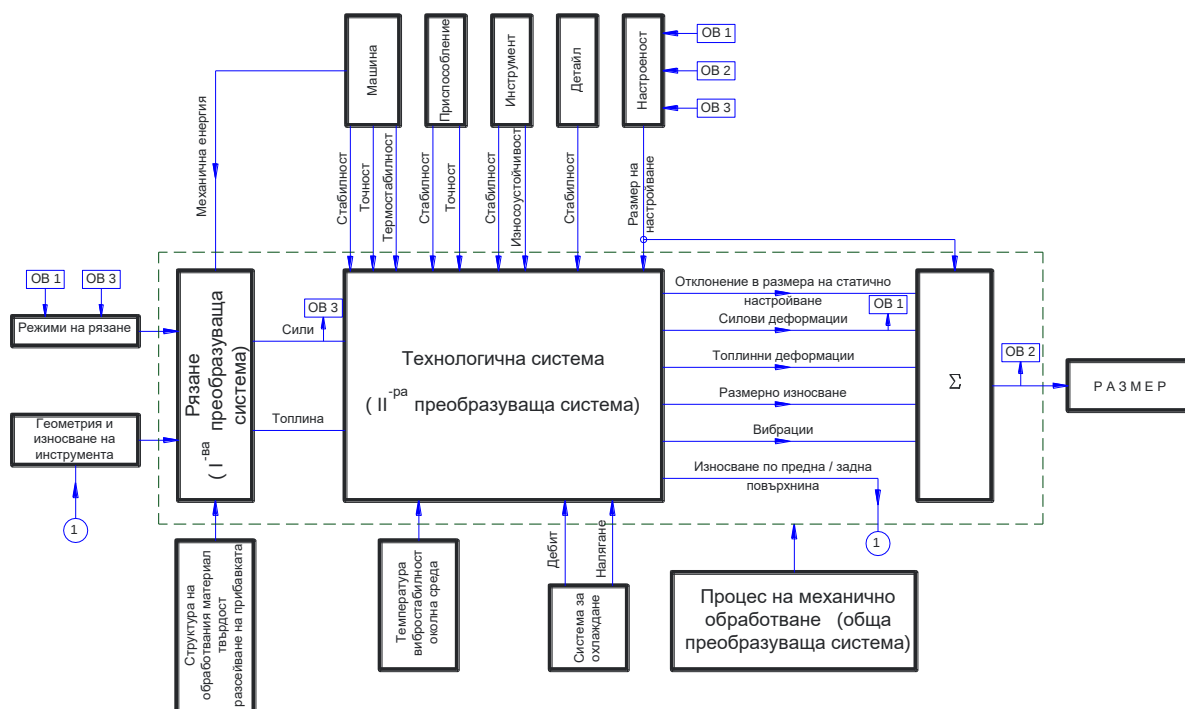
Като реализация прогнозирането е по-сложно изпълнима задача и изисква определяне на: вида на елементарните грешки; източника на тяхното възникване; причината, пораждаща всяка грешка; характер на грешката; период на възникване и продължителност на действие.

¹⁰ Докладът е представен на пленарната сесия на 28 октомври 2022 с оригинално заглавие на български език: ТЕХНОЛОГИЧНО ОСИГУРЯВАНЕ НА ТОЧНОСТТА ПРИ СТРУГОВО ОБРАБОТВАНЕ НА ДЕТАЙЛИТЕ НА МАШИНИ С ЦПУ

ИЗЛОЖЕНИЕ

Когато моделираният обект е технологичен процес, използваният модел трябва да разработи зависимостта (оператора), описващ връзката между изходните данни и зададените или търсените входни величини на процеса. В моделирането понятието оператор е по-коректен термин, защото се третира в по-широк смисъл: функция, свързваща входните и изходни стойности; система от алгебрични, диференциални или интегрални уравнения отразяващи връзката; алгоритъм, набор от правила, които осигуряват намиране на изходните параметри. Моделирането на технологичните процеси се базира на математическите модели. Тези модели могат да бъдат групирани като аналитични, числени, експериментални, базирани на изкуствен интелект (AI) (Ji Wat al, 2019, Tugengold A.K. 2011) и хибридни техники за моделиране.

За изясняване на задачите и проблемите, свързани с моделирането на технологичните процеси за обработване с рязане, ще се анализира двустепенния модел (Фиг. 1), разгледан в (Koleva, S., Enchev, M., 2022).



Фиг. 1. Двустепенен модел на технологичния процес

Елементите на обобщения математичен модел се явяват:

- множество от входни данни (променливи) X, Y, Z , където:

$X_n (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ е съвкупност от вариращи променливи, явяващи се входящи фактори на процеса рязане (режими на рязане, геометрия и износоустойчивост на инструмента, свойства на материала);

$Y_m (y_1, y_2, y_3, \dots, y_m)$ съвкупност от независими променливи (константи), определени от параметрите на обработващата система (МПИД). Наборът от независими променливи Y определят оперативната среда, в която проектираният процес на рязане ще се реализира. Те могат да бъдат:

– технически параметри на обработващата система (МПИД), които не подлежат на промяна (стабилност, точност и термостабилност на машината; стабилност и износоустойчивост на инструмента и др.) в процеса на проектиране;

– технологични параметри, които трябва да бъдат постигнати при технологичното проектиране (стабилност и точност на приспособленията; размер на настроеност; дебит и налягане на СОТ);

$Z_k(z_1, z_2, z_3, \dots, z_k)$ – параметри на околната среда, свързани с промени на параметрите на средата, с която обработващата система взаимодейства (температура на околната среда, вибрации) и регулярността на процеса (непланирани престои);

- математичния оператор A – разбира се пълната система от математически операции, описващи числените и логически съотношения между множеството входни и изходни променливи;

- множество на изходните данни (променливи) $S(X_n, Y_m, Z_k)$.

Множеството вариращи входни фактори (променливи) $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$ на процеса рязане образуват крайно-мерно пространство $R(X_n)$, което е с размер n , равен на броя на променливите параметри. Изходните параметри на модела, характеризиращи процеса рязане, формират пространство $RS(X_n)$. Елементите на това пространството се образуват от множеството стойности на изходящите параметри S_s (s – номера на изходящия параметър), получавани от математически съотношения $S_s(X) = A_{np,j}(X_j)$, където $A_{np,j}$ е оператора, а j са номерата на входните фактори, влияещи на конкретния изходящ параметър. Например, силата на рязане е свързана с няколко входни параметъра – дълбочина на рязане и подаване, структура и твърдост на материала, геометрия на инструмента (преден, заден ъгъл и др). Комбинацията от тези j -фактора, всеки от които има съответен оператор на преобразуване, създават пространството $RS(X_j)$ на множеството от стойности на изходящия параметър – сила на рязане. При избрани (фиксиранни) стойности на дълбочина и подаване силата на рязане ще варира в пространството $RS(X_j)$, определено само от разсейването на смущаващите фактори.

Наборът от независими входни променливи $R(Y_m), R(Z_k)$ и изходните параметри $RS(X_n)$ образуват пространство на входните данни, влияещи на обработващата система, което е отбелязано общо $R(G)$. Изходящите променливи на обработващата система формират пространството $RS[RS(X_n)Y_m, Z_k] \equiv RS(G)$, което определя стойностите на елементарните грешки. Елементите му се образуват от множество стойности на елементарните грешки S_u (u – номер на съответната грешка), получавани от математическите съотношения $S_u[RS(X_n)Y_m, Z_k] = A_{oc,j}R(G_j)$, където $A_{oc,j}$ е оператора, а j са номерата на входните фактори, влияещи на конкретния изходящ параметър (елементарна грешка). Една част от входните параметри на обработващата система, които се явяват нейни собствени грешки не се преобразуват, а директно формират изходяща грешка. Такива са грешките, определящи повторемостта от позициониране, от настроеността и др. Осигуряването на точността е избор и налагане на ограничение на входящите параметри на процеса и обработващата система, които трябва да ограничат това множество от стойности на грешките до такива, разположени в допустима област (граница).

Моделирането на връзката между размера и входящите фактори, разглеждайки технологичния процес (операция, преход) като двустепенно преобразуване, включва следните три етапа (Фиг. 1).

- моделиране на входните величини на процеса рязане в двата основни изходни параметъра – сили и топлина;

- моделиране на въздействието, създавано от процеса рязане и околната среда при избрани параметри (константи) на характеристиките на технологичната система, позволяващо да се определят елементарните грешки;

- моделиране на влиянието на елементарните грешки върху сумарната грешка на получавания размер.

В съвременните научни изследвания особено внимание се отделя на първия етап. Това е свързано със сложните явления и множеството променливи фактори, съпътстващи процеса рязане. Прилагат се всички разновидности на математическото моделиране, като в основата за изграждане на моделите е механистичния подход. Последният изисква задълбочено познаване на механизмите на физическите явления (напрежения, деформации, триене, температура, топлоотдаване и др.), протичащи в процеса рязане (Le B. et al, 2020).

На втория етап моделирането е свързано със силовото и топлинно натоварване на системата МПИД. За силовото моделиране (описващо основно деформациите на заготовката,

инструмента и тези, възникващи при тяхното установяване (Dimitrov D., T. Szecsi, 2016)) се използват аналитични модели (Li X. at al, 2016). При по-сложни конфигурации се прилага FEM-анализ. Същият апарат е основен и за анализиране на топлинното натоварване на машината, заготовката и инструмента (Denkena B. at al, 2020, Józwik J. 2018).

Третият етап трябва също да се разглежда, като моделиране на част от технологичния процес. Той създава оператора на преобразуване на елементарните грешки, съобразно техния характер, в резултатна грешка на получавания размер (Ruzhentsev I.V. at al, 2016). Този оператор трябва да е съобразен със съответния подход, приет за управление на точността в хода на процеса и да е общ за всеки вид процес на обработване с рязане при отчитане на стохастичния характер и стабилността на процеса размеро-образуване. Винаги осигуряването на точността на размерите е свързано с определен вид управление за намаляване въздействието на променливите систематични грешки. Следователно създадените модели не само трябва да определят начина на сумиране на елементарните грешки в съответствие на техния характер (систематични или случайни), но и грешките, свързани с вида на управлението и използваните при него алгоритми.

Създаването на адекватни моделите изисква те да са съобразени с особеностите на технологичния процес за обработване с рязане.

1. Моделът описва стохастичен процес – смущаващите фактори (прибавки, якост на материала, позиционни грешки и др.) са със случаен характер. Дори неотстранената част от постоянните грешки след тяхното компенсиране е случайна величина.

2. Моделът описва динамичен процес – отчита се промяната на входните фактори във времето. За динамичните модели входните и изходните променливи се разглеждат като случайна функция $Y(t) = A_i X(t)$, където $Y(t)$ и $X(t)$ са изходната и входната случайна функция, а A_i е оператора на преобразуване, който се приема за линейна функция.

3. Моделът е стохастично (вероятностно) детерминиран – смисълът е, че при известни гранични стойности на входящите фактори и закони на разпределение може да се определят граничните стойности на отклонението на размера и закона на неговото разпределение. Една част от входящите фактори са детерминирани (константа, функция на разстояние или време), други са случайни, но ако операторът на преобразуване не се променя във времето (процесът е стационарен), изходните променливи са детерминирани като конкретни стойности или вероятностни величини. Пример за това поведение на технологичния процес е фактора прибавка. Тя може да има постоянна средна стойност или последната закономерно да се променя по дължина на повърхнината, както и случайно разсейване. Ако оператора на процеса рязане не се променя във времето, създаваната сила е еднозначно свързана с големината на прибавката, като е определена с вероятна средна стойност и поле на разсейване. Тази детерминираност ще се запази и между силата и еластичните деформации в обработващата система, ако зависимостта (оператора) определящ връзката сила-деформации не се променя във времето.

4. Моделът винаги съдържа неопределеност.

Точността на прогнозиране на грешката на получавания размер се определя от два фактора:

- точността на модела (адекватността на оператора на преобразуване);
- точността на входните данни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От извършения принципен анализ на задачите и проблемите на моделирането на металообработващи операции и широкообхванат литературен преглед на неговото текущо състояние, може да се направи заключение, че промишленото приложение на създадените модели е много ограничено поради следните причини:

- математическите модели не са съобразени с разходите и изискването за опростени потребителски функции, изискващи за използването си малки предварителни знания и обучение;

- интересите на индустрията са ограничени до прогнозни модели водещи до ефективност на процеса, а не до прогнозиране на междинни фундаментални променливи (напрежения, деформации, коефициенти на триене и др.);
- директното приложение на наличните в момента модели за прогнозиране на точността за конкретни операции в производството е ограничено, тъй като повечето модели, разработени от изследователи, са само лабораторно валидирани и не са тествани в реални условия;
- недостатъчна достоверност на получените резултати, дължаща се на точността на модела (оператора на преобразуване) и основно на неопределеността при дефиниране стойностите на съвкупността от входни параметри.

REFERENCES

- Denkena B., B. Bergmann, H. Klemme (2020). Cooling of motor spindles—a review. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06069-0>.
- Dimitrov D., T. Szecsi. (2016). Machining Accuracy on CNC Lathes under the Lack of Unity of the Process and Design Data. 48th CIRP International Conference on Manufacturing Systems, CIRP CMS 2015. p. 824-828. DOI: 10.1016/j.procir.2015.10.001.
- Ji W., Shubin Yin, Lihui Wang (2019). A big data analytics based machining optimisation approach. J Intell Manuf 30, 1483–1495. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1440-9>.
- Józwik J. (2018). Experimental methods of error identification in CNC machine tool operation - Monografie. Politechnika Lubelska. Lublin.
- Koleva, S., Enchev, M., Modern problems and tendencies of effective accuracy control of turning operations, AIP Conference Proceedings, 2022, 2449, p.1-7.
- Le B., J. Khaliq, D. V, X. Teng, I. Shyha (2020). A review on Nanocomposites Part 2: Micromachining. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 142(10):1-46, DOI: 10.1115/1.4047138.
- Li X., H. Wang, X. Zhu, Q. Zhou, X. Xiao, X. Wang (2016). Improvement of Precision and its Stability by Using Cooperation Motions and Enhancement of Tribological Property. 2nd International Conference on Advances in Energy, Environment and Chemical Engineering (AEECE 2016). p.0384-0387.
- Ruzhentsev I.V., S.V. Lutsky, V.B. Fetkiv (2016). Discrete probabilistic information model of machining processing total error calculation. Metrologia, informacionno-izmerwatelni technologichni sistemi. UDK 658.51/52. P.135-138, Harkov. (**Оригинално заглавие:** Руженцев И.В., С.В. Луцкий, В.П. Феткив. Дискретно вероятностные информационные модели расчета суммарной погрешности механообработки. Метрология, інформаційно-вимірвальні технології та системи, УДК 658.51/52. 135-138. Харьков.)
- Tugengold A.K. (2011). Processing accuracy control using capabilities of machine tool knowledge system. Vestnik DGTU, t.11. N8 (59), izd.1, UDK 004.89+621.518.2 p.1201-p.1209. Rostov na Don. (**Оригинално заглавие:** Тугенгольд А.К. Управление точностью обработки с использованием возможностей системы знаний станка. Вестник ДГТУ. 2011. Т. 11, № 8(59), вып. 1. УДК 004.89+621.518.2. стр. 1201-1209, Ростов на Дон).