



**Раздел 1**  
**МАШИНОСТРОЕНЕ**

**Section 1**  
**MECHANICAL ENGINEERING**

**АНАЛИЗ НА МЕТОДИТЕ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТОЧНОСТТА НА  
МЕХАНИЧНОТО ОБРАБОТВАНЕ С ОТЧИТАНЕ НА ЯВЛЕНИЕТО  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКА НАСЛЕДСТВЕНОСТ**

**ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE ACCURACY OF  
MACHINED CONSIDERING THE PHENOMENON TECHNICAL HEREDITY**

**Стефан Станев\***  
ТУ-Габрово

Статията е постъпила на 25 февруари 2014 г.; приета за отпечатване на 01 април 2014 г.

**Summary:**

*Reporting on the phenomenon of "technological heredity" in the design of manufacturing processes is impossible without the development of methods for evaluating the accuracy. Based on the analysis of the methods for the determination of the inaccuracy of the mechanical treatment, it has been found that the use of analytical and computational method is advantageous because of most real account of manufacturing conditions, characteristics of machining operations, and can be applied to various methods of treatment.*

**Key words:** *technological heredity, geometric parameters, accuracy, analytical and computational method.*

**ВЪВЕДЕНИЕ**

Отчитането на явлението „технологична наследственост“ при проектирането на технологически процеси е невъзможно без разработването на методи за оценка на точността. Основният критерий за приемането на всяко технологично решение е възможността за постигане на зададената точност и затова е необходима предварителна оценка на точността на размерите, формата и разположение на повърхнините.

**ИЗЛОЖЕНИЕ**

При изчисляването на точността е възможно:

- да се определи възможното разсейване на зададения параметър (целта е определяне на общата неточност при механичното обработване);
- да се установи дела на елементарните неточности и разработване на мерки, намаляващи влиянието на доминиращите неточности върху точността (напр. други варианти на установяване);
- да се регламентира времето за механично обработване на детайлите до момента за поднастройване или смяна на режещия инструмент, най-бързо износващите се детайли на приспособлението и т.н.

Най-трудно се определя сумарната неточност при механичното обработване. Това се обяснява с недоста-

тъчното количество данни за определяне на елементарните неточности при обработване и липсата на частни методики за това. Поради това, в някои случаи, технолозите трябва самостоятелно да разработят план за анализиране на резултатите от теоретичните и експериментални изследвания. Обикновено решението се ограничава до последните две задачи, тъй като това води до максимален ефект за подобряване на точността на механичното обработване, особено в условията на частична автоматизация на производството. *В работата, с цел отчитане на технологичната наследственост е необходимо решаването на първите две задачи, което е доста сложна и трудоемка задача.*

За решаване на задачата „оценяване на точността“, се използват два метода:

- *опитно-статистически;*
- *аналитико-изчислителен.*

Тези методи са коренно различни по своята същност, като имат своите предимства и недостатъци. Това налага извършването на сравнителен анализ за избор на метод за определяне на очакваната точност, който да се използва при изследване влиянието на явлението „технологическа наследственост“ върху точността на механичното обработване.

\* Тел.: 0889242330; E-mail:Stefan\_gb@abv.bg

### • *Опитно-статистически метод*

Този метод се основава на използването на резултатите от наблюденията на точността на операции и процеси, аналогични на разглеждания. Резултатите се обобщават и представят в табличен вид [3,4,5,8,11,13]. По този начин, са получени известните „таблици за икономичната точност“. Те регламентират точността чрез използване на определени технологически методи и обслужване на работните места с работници с висока професионална квалификация, без да се увеличава времето за обработване с цел постигане на зададената точност. Методите за оценка с помощта на „таблиците за икономичната точност“ са се използвали достатъчно дълго при анализирането на технологическите процеси за механично обработване.

Предимство на опитно-статистическите методи е тяхната простота и сравнително малка трудоемкост, като в същото време, те имат и недостатъци.

1. Опитно-статистическите методи не отчитат конкретните производствени условия (*напр. една и съща технологическа операция се различава по производствените условия*). Това показва, че методът е удачен само за предварително определяне на точността и е неподходящ за подробен анализ на технологическите процеси [4,5,8]. Нормите за точност (дадени таблично) са с ограничен характер.

2. Разглежданите методи не разкриват физическата същност на явленията, не позволяват да се определи влиянието на различни фактори върху точността на механичното обработване, да се обясни това влияние и да се посочат начини за подобряване на точността. Въз основа на статистически изследвания, трудно могат да се разкрият някои закономерности, които могат да бъдат получени чрез прости заключения (*напр. лесно е да се разбере, че при обстърване на вал между центри, вследствие на еластичните деформации на обработвания детайл и двете седла на металорежещата машина, се получава отклонение от правилната геометрична форма, която е различна от цилиндричната*). При това, ако седлата са с по-висока стабилност от обработвания детайл (вала), то той ще се получи с бъчвообразна форма. Ако вала е по-стабилен в средата ще се получи отклонение седлообразност. Анализирайки точността на обработването на вала по статистическите методи могат лесно да бъдат получени подобни изводи.

Въпреки посочените по-горе недостатъци, статистическите методи за оценка на точността са първата стъпка по пътя към създаване на научна база в теорията за точността при механичното обработване, която е намерила израз в някои публикации [3,8].

### • *Аналитико-изчислителен метод*

Този метод се основава на използването на аналитични зависимости и емпирични формули, с които се определят стойностите на елементарните неточности, които след това се сумират по метода на пълната взаимозаменяемост (максимум-минимум), или по метода на непълната взаимозаменяемост (вероятностен метод) [6,7,8,13,14,15,16].

Съставните неточности при използването на дадения метод се определят въз основа на закономерности, установени при предварително проведени теоретични и експериментални изследвания, както и по пътя на обработването на резултати от извършени наблюдения

в определени производствени условия. Тези закономерности имат общ характер.

Аналитико-изчислителния метод дава възможност не само да се предскаже точността на обработването, но и да се дадат указания как да се влияе върху процеса, така че да се увеличи точността на обработването.

Аналитико-изчислителния метод не изключва използването на статистически методи за изследване [8,9,10]. На първо място статистическите методи са единствените, които позволяват изучаване на неточности имащи случаен характер, на второ място, тези методи намират добро приложение при провеждане на наблюдения в производствени условия, докато сложните експерименти са възможни за провеждане в лабораторни условия. Освен това, установявайки различните закономерности трябва да се знае, че тъй като законите обхващат само общото в явленията, те винаги в по-голяма или по-малка степен схематизират явленията, опростяват го, поради което без отчитане на вероятностния (статистически) аспект, не могат да се използват.

По този начин, основното предимство на този метод е, че дава възможност достатъчно пълно и точно да се опише явленията с отчитане на неговата физическа същност и да се посочат пътища за подобряване на точността.

Аналитико-изчислителния метод притежава следните недостатъци:

1. Висока трудоемкост, поради необходимостта от разкриване на всички действящи фактори в процеса на обработването и изчисляване на съответните елементарни неточности. Поради това методът е целесъобразен при оценка на очакваната точност при обработването на прецизни детайли.

2. В основата на метода е принципа на суперпозицията, т.е. действието на всеки от факторите, влияещ на крайния резултат се разглежда поотделно и без връзката му с другите фактори. Този подход противоречи с реалността, тъй като явленията, възникващи при изпълнението на технологическите процеси са свързани помежду си.

Основоположник на този метод е проф. В. М. Кован, които от началото на трийсетте години е публикувал научни и учебни пособия в областта на технология на машиностроенето [3,4] и е установил закономерности при работа на предварително настроени машини, за които е предназначен аналитико-изчислителния метод за определяне на очакваната точност. По нататък методът е получил развитие в работите на проф. А. П. Соколовски [12], където сумарната неточност при обработване се определя като сума от елементарни неточности, която може да бъде приета за очаквана точност при обработването.

Сумирането на елементарните неточности е специфично за всеки отделен случай на обработване. Ако всяка от елементарните неточности представлява звено от размерна верига, то очакваната сумарна точност  $\varepsilon_{\Sigma}$  се определя като затварящо звено на веригата и сумирането на елементарните неточности се извършва алгебрично [11]:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_y + \varepsilon_{ed} + \varepsilon_n + \varepsilon_{pu} + \sum \varepsilon_m + \sum \varepsilon_m, \quad (1.1)$$

където

$\varepsilon_y$  - неточност от установяване на заготовката в приспособлението,

$\varepsilon_{e0}$  - неточности вследствие на еластични деформации на технологическата система;

$\varepsilon_n$  - неточност от настройване на технологичната системата на размер, с отчитане на точностните характеристики на използвания метода за настройване;

$\varepsilon_{pu}$  - неточност от размерно износване на режещия инструмент;

$\sum \varepsilon_m$  - неточности на технологичната система, свързани с геометрични неточности на машината, динамични неточности и деформации на заготовката под действието на различни сили;

$\sum \varepsilon_m$  - неточност вследствие на еластични, обемни и контактни деформации на елементите на технологичната система, в резултат на нагриването им при рязане, триене и изменението на температурата.

Задачата се решава по метода "максимум-минимум", като всички елементарни неточности се разглеждат по направление на получавания размер.

Стойността на  $\sum \varepsilon_m$  се определя чрез компенсиране на неточностите в технологичната система, които зависят от действието на различни фактори. При обработването на ротационни детайли  $\varepsilon_y$  се определя без да се взема под внимание  $\varepsilon_y$ . Изчисляването на  $\varepsilon_y$  по формула (1.1) се явява достатъчно, но точността на изчисленията е ниска, което предполага, че резултатите са завишени.

По-точен се явява друг метод за изчисление, при който всяка елементарна неточност може да се представи като векторна величина, модулът на която характеризира полето на разсейването □. Тогава значението на очакваната точност трябва да се определи като векторна сума:

$$\vec{\varepsilon}_\Sigma = \vec{\varepsilon}_y + \vec{\varepsilon}_{e0} + \vec{\varepsilon}_n + \vec{\varepsilon}_{pu} + \overrightarrow{\sum \varepsilon_m} + \overrightarrow{\sum \varepsilon_m} \quad (1.2)$$

Израз (1.2) се използва на практика рядко, тъй като предполага познаване на направлението, в което се появява дадената неточност.

Ако всеки вектор се проектира по направление на получавания размер, то задачата може да се опрости, тъй като векторите са успоредни:

$$\varepsilon_\Sigma = \varepsilon_{y0} + \varepsilon_{e0} + \varepsilon_{n0} + \varepsilon_{pu0} + \sum \varepsilon_{m0} + \sum \varepsilon_{m0} \quad (1.3)$$

където индексът "0" означава проекции на векторите на основната неточност.

Израз (1.3) е подобен на израз (1.1).

Недостатъците на предложението метод на сумиране могат да бъдат избегнати, ако се има предвид, че характера на елементарните неточности е вероятностен и тогава сумирането на неточностите се извършва по метода на „квadraticното сумиране“ [4,6,7,11,14]:

$$\varepsilon_\Sigma = p \sqrt{(\lambda_1 \varepsilon_y)^2 + (\lambda_2 \varepsilon_{e0})^2 + (\lambda_3 \varepsilon_n)^2 + (\lambda_4 \varepsilon_{pu})^2 + (\lambda_5 \sum \varepsilon_m)^2} \quad (1.4)$$

където

$p$  - коефициент, определящ процента на риск от брак при механичното обработване;

$\lambda_1 \dots \lambda_5$  - коефициенти, определящи законите на разпределение на всяка от елементарните неточности.

Рискът се дължи на факта, че не може със сигурност, да се определи, че на разсейването на дадена елементарна неточност съответства определен закон на разпределение (при  $p = 1$ , вероятността от брак е 32%, при  $p = 2$ , вероятността от брак намалява до 4,5%, при  $p = 3 - 0,27\%$ ) [6,7,9,10].

За нормалното разпределение (закон на Гаус)  $\lambda = 1/9$ ; за разпределението на Симсън  $\lambda = 1/6$ , за закона за равната вероятност, или за другите по-малко известни закони  $\lambda = 1/3$  [6,7,9,10].

Известно е, че  $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1/9$  за първите три неточности, които се подчиняват на закона на Гаус.  $\lambda_4 = 1/3$  (разпределението на тази неточност съответства на закона за равната вероятност),  $\lambda_5 = 1/3$  (закона на разпределение  $\sum \varepsilon_m$  е малко известен), а  $\sum \varepsilon_m$  не е случайна величина и под знака на корена не се сумира.

Стойности на елементарни неточности сумирани под знака на корена представляват полето на разсейване на тези величини. Тяхното предимство е в това, че по тях още в процеса на разработване на технологичната може чрез сумирането им да се определи очакваната точност на параметъра.

Недостатък на горните формули е, че повечето елементарни неточности се определят таблично или чрез статистическо обработване на данни.

За отстраняване на този недостатък съществува математически апарат [1,2,11], позволяващ определяне на елементарните неточности с използването на теорията на подобие, отчитайки физико-механичните характеристики на обработвания и инструменталния материал, вида на металорежещите машини, параметрите на режещия инструмент, стабилността на детайла и т.н. В този случай, общата неточност, получена в процеса на механичното обработване чрез рязане се определя от израза (1.5) [1,2], като се отчитат само неточностите, свързани с процеса на снемане на метал:

$$\varepsilon_\Sigma = \varepsilon_j + \varepsilon_{m\partial_u} + \varepsilon_{m\partial_o} + \varepsilon_{u_{pu}} \quad (1.5)$$

където

$\varepsilon_j$  - неточност от недостатъчна стабилност на технологичната система МПД;

$\varepsilon_{m\partial_u}$  - неточност от температурни деформации на режещия инструмент;

$\varepsilon_{m\partial_o}$  - неточност от температурни деформации на обработвания детайл;

$\varepsilon_{u_{pu}}$  - неточност свързана с износването на режещия инструмент.

Стойностите на елементарните неточности в (1.5) се определят по изразите:

$$1. \varepsilon_j, \quad \varepsilon_j = \frac{F_p \cdot \mu_2}{j_{mc}} \quad (1.6)$$

където  $F_p$  - радиалната компонента на силата на рязане [1,2];

$$F_p = \frac{\tau_p \cdot a_1 \cdot b_1 \cdot c_3 \cdot E^{x_3} \cdot M^{y_3} \cdot \left(\frac{h_0}{r_1}\right)^{z_3}}{B^{k_3} \cdot (\sin \alpha)^{0.19} \cdot (\sin \gamma)^{0.17}} \cdot \cos \chi_r,$$

където

$\tau_p$  - допустимо напрежение на срязване на обработвания материал;

$a_1, b_1$  - дебелина и широчина на срязвания слой;

$c_3, x_3, y_3, z_3, k_3$  - коефициенти, характеризиращи влиянието на геометрията на режещия инструмент и геометрията на срязания слой;

$E, M, B$  - критерии за подобие на процеса рязане [1,2];

$h_0$  - износване на режещия ръб на инструмента по задната повърхнина;

$r_1$  - радиус на закръгление на режещия ръб на инструмента;

$\alpha$  - заден ъгъл на режещия инструмент;

$\gamma$  - преден ъгълът на режещия инструмент;

$\chi_r$  - главен установъчен ъгъл на инструмента;

$\mu_2$  - коефициент на динамичност:

$$\mu_2 = \frac{1,49 \cdot f^{1,82} \cdot V_c^{0,19} \cdot \chi_r^{0,75} \cdot r^{0,4} \cdot (HB)^{0,3}}{a_p^{1,25} \cdot D^{0,7}},$$

където

$f$  - подаване;

$V_c$  - скорост на рязане;

$r$  - радиус на върха на режещия инструмент;

$HB$  - твърдост на обработвания материала;

$a_p$  - дълбочина на рязане;

$D$  - диаметър на обработваната повърхнина от детайла;

$J_{mc}$  - статична стабилност на технологичната система.

$$J_{mc} = \frac{1}{w_m + w_\partial + w_n}.$$

$w_m, w_\partial, w_n$  - податливости на машината, детайла и приспособлението.

2.  $\varepsilon_{m\partial u}$  [1,2],

$$\varepsilon_{m\partial u} = \frac{\beta_{\alpha_u} \cdot \bar{\theta}_{\alpha(u)}}{2k} \left[ \begin{aligned} & \left[ 1 + 2 \sqrt{\frac{\alpha_1 a_{m\partial u} \tau}{\pi \lambda_{m\partial u} h}} \frac{1}{\sqrt{\lambda_{m\partial u} h}} \left[ 1 - \exp\left(-L_{uu} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_{m\partial u} h}}\right) \right] - \frac{1}{\sqrt{\pi a_{m\partial u} \tau}} \times \right. \\ & \times \left[ -\frac{\lambda_{m\partial u} h}{\alpha_1} \exp\left(-L_{uu} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_{m\partial u} h}}\right) \left( L_{uu} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_{m\partial u} h}} + 1 \right) + \frac{\lambda_{m\partial u} h}{\alpha_1} \right] - \\ & \left. - \left[ 1 - 2 \sqrt{\frac{\alpha_1 a_{m\partial u} \tau}{\pi \lambda_{m\partial u} h}} \frac{1}{\sqrt{\lambda_{m\partial u} h}} \left[ 1 - \exp\left(L_{uu} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_{m\partial u} h}}\right) \right] - \frac{1}{\sqrt{\pi a_{m\partial u} \tau}} \times \right. \right. \\ & \left. \left. \times \left[ \frac{\lambda_{m\partial u} h}{\alpha_1} \exp\left(L_{uu} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_{m\partial u} h}}\right) \left( L_{uu} \sqrt{\frac{\alpha_1}{\lambda_{m\partial u} h}} - 1 \right) + \frac{\lambda_{m\partial u} h}{\alpha_1} \right] \right] \right] \end{aligned} \right), \quad (1.7)$$

където

$L_{uu}$  е дължина на излета на инструмента;

$\beta_{\alpha_u}$  - коефициент на линейно температурно разширение на материала на държача на инструмента;

$\bar{\theta}_{\alpha(u)}$  - средна температура по задната повърхнина на инструмента;

$\tau$  - време на нагряване на инструмента;

$h$  - отношение на лицето на сечението на държача на инструмента към неговата обиколка;

$\alpha_1$  - коефициент на топлоотдаване на инструмента;

$a_{m\partial u}$  - топлопроводимост на материала на държача на инструмента;

$\lambda_{m\partial u}$  - коефициент на топлопроводимост на материала на държача на инструмента.

3.  $\varepsilon_{m\partial \partial}$  [1,2],

$$\varepsilon_{m\partial \partial} = \frac{c \beta_{m\partial} \bar{\theta}_{on\partial} F_0^m}{0,25 \cdot D + 1} \cdot \left(\frac{l_{mu}}{S_{mu}}\right)^n \cdot \left[ 0,5D - \left(\frac{d}{D}\right)^{0,25D} \cdot 0,5d \right], \quad (1.8)$$

където

$c, m, n$  - коефициенти, зависещи от свойствата на обработвания и инструменталния материали [1,2];

$F_0$  - критерий на Фурие,  $F_0 = \frac{\alpha(\tau - \tau_0)}{R^2}$ , ( $\tau$  - време

за нагряване и охлаждане на обработвания детайл, s;

$\tau_0$  - време за нагряване на обработвания детайл, s;

$\alpha$  - топлопроводност на материала на обработвания детайл, m<sup>2</sup>/s);

$\beta_{m\partial}$  - коефициент на линейно температурно разширение на материала на детайла;

$\bar{\theta}_{on\partial}$  - максимална температура на повърхнината на детайла, °C;

$l_{mu}$  - дължината на условия пръстеновиден топлинен източник, mm;

$S_{mu}$  - скорост на движение на условия пръстеновиден топлинен източник.

4.  $\varepsilon_{u_{pu}}$  [1,2],:

$$\varepsilon_{u_{pu}} = C \frac{\pi \cdot D \cdot l_{onf}}{f} \cdot \left(\frac{\tau_p}{\sigma_{oz_{um}}}\right)^x \cdot (B \cdot V)^y \cdot E^z \quad (1.9)$$

където

$\sigma_{oz_{um}}$  - допустимо напрежение на натиск на инструменталния материал при температурата на рязане;

$B, V, E$  - критерии за подобие на процеса рязане [1,2];

$l_{onf}$  - дължина на обработваната повърхнина в направление на подаването;

$C, x, y, z$  - коефициенти, зависещи от условията на обработване [1,2].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на направения анализ на методите за определяне на неточността на механичното обработване, може да се направи заключението:

- използването на аналитико-изчислителния метод, базиращ се на използването на зависимостите в [1,2] е целесъобразно, тъй като методът в най-голяма степен отчита реалните производствени условия и особеностите на механичното обработване;
- методът може да се приложи за различни методи на обработване (струговане, фрезование, и др.).

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Безъязычный В. Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя. - Ярославль: ЯПИ, 1978. - 86 с.
- [2] Безъязычный В. Ф., Ю. К. Чарковский, В. Н. Крылов. Технологическое обеспечение эксплуатационных показателей деталей машин - М.: Машиностроение, 2001. - 217 с.
- [3] Кован В. М., А. Б. Яхин Теоретические вопросы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1939. - 201 с.
- [4] Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения - М.: Машгиз, 1977. - 186 с.
- [5] Корсаков В. С. Точность механической обработки. - М.: Машгиз, 1961. - 379 с.
- [6] Кузманов Т. Технологически основи на управление качеството на машиностроителните изделия. Изд. ТУ-Габрово, Г., 1991.
- [7] Кузманов Т. Технологически основи на управление качеството на машиностроителните изделия. Ръководство за лабораторни упражнения. ТУ-Габрово, 1992.
- [8] Кузманов Т., Х. Метев. Технология на машиностроенето ч.1 (Основи на машиностроителните технологии). Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2005.
- [9] Кузманов Т., К. Крумов. Управление на качеството. Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2013.
- [10] Кузманов Т., К. Крумов. Управление на качеството, ръководство за упражнения. Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2013.
- [11] Маталин А. А. Технология машиностроения. - Л.: Машиностроение, 1985. - 512 с.
- [12] Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения - М.-Л.: Машгиз, 1955. - Т. 1. - 586 с.
- [13] Справочник технолога-машиностроителя: В т.2/под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова, А. Г. Сулова.-М.: Машиностроение, 2001. - Т. 1. - 912 с.
- [14] Сулов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. - М.: Машиностроение, 1987.-208 с.
- [15] Сулов А. Г., А. С. Васильев, С. О. Сухарев. Влияние технологического наследования на качество поверхностного слоя деталей машин. Известия вузов. Машиностроение. - 1999. - № 1. - с.69-76.
- [16] Васильев А. С., А. М. Дальский, А. С. Клименко и др. Технологические основы управления качеством машин - М.: Машиностроение, 2003. - 256 с.