



ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ТОЧНОСТТА С ОТЧИТАНЕ НА ЯВЛЕНИЕТО ТЕХНОЛОГИЧЕСКА НАСЛЕДСТВЕННОСТ

DETERMINATION OF ACCURACY CONSIDERING THE PHENOMENON TECHNICAL HEREDITY

Христо Метев
ТУ-Габрово

Тодор Кузманов
ТУ-Габрово

Калин Крумов*
ТУ-Габрово

Статията е постъпила на 01 юни 2014 г.; приета за отпечатване на 12 ноември 2014 г.

Summary:

Proposed an analytical method for determining the expected precision lathe processing, taking into account the phenomenon of technological heredity level passage to the application of the matrix method enabling the most complete description of the mechanism of formation of the constituent errors and their mutual influence. Taking into account the mutual influence of the constituent errors occurring in lathe processing, to determine them is proposed methodology allows the calculation of the transform coefficients.

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

УВОД

Особеност на съвременното машиностроене е наличието на устойчива тенденция към усложняване анализа на точността, дължаща се на редица обективни причини, като нарастващите изисквания към техническата характеристика на детайлите и разширяването на функционалните им възможности. Във връзка с усъвършенстването на технологическите процеси се наблюдава нарастване и на изискванията при контрол, *напр. наред със задачата за осигуряване на точността при всеки отделен преход, се поставя и задачата за осигуряване на точността в хода на целия технологически процес.* Правилното решаване на тези задачи изисква използването на по-сложни методики.

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

• Количествена оценка на технологическата наследственост

Унаследяването на свойствата в хода на технологическия процес е характерно както за *детерминирани*, така и за *вероятностните системи*. В първия случай не възниква никаква неопределеност при предаването на свойствата. Ако е известно предишното състояние на системата и начина на преработване на информацията, то е възможно да се предскаже нейното следващо съ-

стояние, както е случаят с технологичното унаследяване на конструктивните форми на заготовките. За *вероятностните системи* не може да се направи точно и детайлно прогнозиране. Възможно е с определена степен на вероятност да се определят наследствените свойства на системата. Въпреки това, установяването на вида на системата - *детерминирана* или *вероятностна*, не оказва решаващо влияние върху разбирането на същността на явлението „технологическа наследственост“. То преди всичко е свързано със състоянието на системата и изменението и във времето.

В настоящия момент аналитичното описание на системите е трудоемко, тъй като все още не е натрупан достатъчен научен материал, описващ изменението на обектите във времето при въздействие върху тях на различни технологически среди.

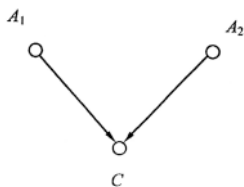
За елемент на системата се приема технологическата операция, а обектите претърпяващи различни промени по време на процеса, са определени свойства на изделията.

Детерминираният подход към явлението „технологическа наследственост“ опростява неговото представяне, тъй като не отчита наличието на случайни фактори. В действителност всеки технологически процес се характеризира с редица параметри имащи случаен характер (свойствата на материала, режимите на обработване, износването на инструментите и др.). Всички тези параметри се сумират случайно в хода на технологическия процес и крайният резултат от процеса е случайна величина.

Елементите на технологическата система (ТС) и връзките между тях с достатъчна точност могат да се опишат с помощта на теорията на графите. Особеност на графите в този случай е, че те трябва да са ориенти-

* Тел.: 0895637468; e-mail: kalin_krasimirov_krumov@abv.bg

рани и ациклични. Върховете на графите са свойствата на обектите, а ребрата характеризират унаследяването на свойствата. На фиг. 1 върха A_1 на графа е съвкупност от свойствата на заготовката, а върха A_2 – свойствата които се създават на определена операция. Ориентираните ребра A_1C и A_2C показват унаследяването на свойствата в процеса на обработване. По този начин възниква обекта C със свойства, характерни за A_1 и A_2 . Ако технологическият процес съдържа и други операции, то всяка от тях създава допълнителни свойства на обработвания обект.



Фиг. 1. Граф за формиране свойствата на обработвания обект [3,8]

Технологическите операции (преходи) могат да ликвидират някои от свойствата на обекта и да създадат нови. В този случай унаследяването на определени свойства се представя с помощта на смесени графове, в които някои от ребрата не са ориентирани (фиг. 2) [3,8].

Процесът на унаследяване като цяло и взаимовръзките между параметрите на качеството на обработвания обект в хода на технологическия процес могат да се представят визуално под формата на ориентиран ацикличен граф [3,8]. Примерен граф на обобщен технологически процес за изработване на точни детайли е показан на фиг. 2.

Всяко ребро от дадения граф характеризира определена връзка между ребрата k . Свойството x_0 , изразяващо кой да е връх от графа, се изменя в хода на технологическия процес и се характеризира с величината x_1

$$x_1 = \left(\frac{I}{k}\right)x_0 = \frac{x_0}{k} \quad (1)$$

Следователно предаването се представя с някакъв коефициент, който показва количественото изменение на определено свойство.

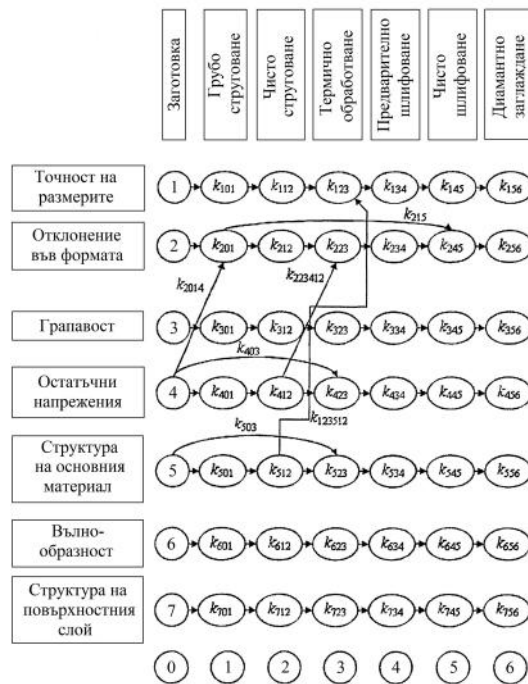
Графът от фиг. 2 представя, от една страна последователността от операции в технологическия процес, а от друга – основните параметри на качеството на детайлите, тяхното изменение и връзките между тях в хода на технологическия процес.

Показателите на заготовката (точност на размерите, отклонение от геометричната форма, грапавост и др.) са номерирани, както са номерирани и операциите от процеса. Операциите в технологическия процес влияят на точността на размерите, последователно увеличавайки я, но разсейването на размерите на готовите детайли е свързано с разсейването на размерите на заготовката.

Зависимости за определяне на коефициентите k_i са дадени в [8]

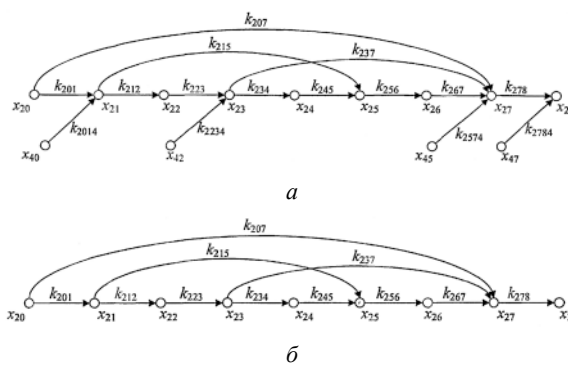
Предавателният индекс е трицифрен, всички показатели на заготовката и детайла са номерират, номерират се и операциите в технологическия маршрут (фиг. 2). Разшифроването на индекса е: 1-та цифра – характеризира определен показател на заготовката или детайла; 2-та

и 3-тата цифра – наименованието или номера на предходната и следващата операция при която се проявява наследствеността.



Фиг. 2. Граф на различните параметри на технологическия процес [3,8]

За по сложни случаи, предавателният индекс може да е четирицифрен, (напр. цифрите могат да показват последователно формата, сечението на заготовката, методът за грубо обработване, напрежението в повърхностния слой).



Фиг. 3. Самостоятелен (а) и опростен (б) каскаден граф [4,8]

Доколкото върху качеството на детайла решаващо влияние оказват не всички, а отделни негови показатели, то за изясняване на картината на унаследяване на тези свойства е целесъобразно да се използват самостоятелни каскадни графове. На основата на обобщения граф на технологическия процес (фиг. 2) се строи самостоятелен каскаден граф за установяване на наследствените връзки за определен параметър на детайла (фиг. 3а). За по-простите връзки, унаследяването на взаимното влияние на различните показатели не се отчита и тогава се строи опростен каскаден граф (фиг. 3б), характеризиращ влиянието и предаването в хода на технологическия процес само на един определен показател.

За да се отчете явлението „технологическа наследственост“ по графичното представяне на даден технологически процес е необходима и количествена оценка. С помощта на нея е възможно да се определи силата на влияние на унаследените грешки при механичното обработване върху качеството на окончателно обработения детайл и надеждността му при експлоатация на готовото изделие.

Във връзка с това, че при изработване на детайлите се осигурят голям брой показатели на качеството, наложително е създаването на обобщени математически модели, представени със системи от уравнения, описващи влиянието на различните технологически фактори върху отделни изходни показатели на качеството при механичното обработване.

В настоящия етап липсва информация и за определяне на коефициентите на унаследяване, както и не са разработени достатъчно методики и математически зависимости, позволяващи отчитането на явлението „технологическа наследственост“, като пренасяне свойствата на детайлите както вътре в дадена операция, така и от операция към операция, при определяне на неточностите, възникващи в процеса на обработване. Съществуващите методики за количествена оценка на технологическото унаследяване, в по-голямата си част не могат да се използват за практически изчисления, поради отсъствието на достоверни стойности за коефициентите на унаследяване.

• **Анализ на методите за определяне на точността с отчитане на явлението технологическа наследственост**

Най-трудно се определя сумарната неточност при механичното обработване. Това се обяснява с недостатъчното количество данни за определяне на елементарните неточности при обработване и липсата на частни методики за това. Поради това, в някои случаи, технологите трябва самостоятелно да разработят план за анализиране на резултатите от теоретичните и експериментални изследвания.

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. 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 е направен в [19].

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

Аналитико-изчислителния метод не изключва използването на статистически методи за изследване [13,14,15]. 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 за-

кономерности трябва да се знае, че тъй като законите обхващат само общото в явленията, те винаги в по-голяма или по-малка степен схематизират явлението, опростяват го, поради което без отчитане на вероятността (статистически) аспект, не могат да се използват.

Основното предимство на аналитико-изчислителния метод е, че дава възможност достатъчно пълно и точно да се опише явлението с отчитане на неговата физическа същност и да се посочат пътища за подобряване на точността. Основните му недостатъци са:

1. Висока трудоемкост, поради необходимостта от разкриване на всички действащи фактори в процеса на обработването и изчисляване на съответните елементарни неточности (*поради това методът се използва за 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 (*това противоречи с реалността, тъй като явленията, възникващи при изпълнението на технологическите процеси са свързани помежду си*).

Използването на аналитико-изчислителния метод е целесъобразно, тъй като той 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.).

В [17] 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 неточност ε_{Σ} , явяваща се затварящо звено, се определя с алгебрично сумиране на 6 елементарни неточности [16]:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_y + \varepsilon_{ed} + \varepsilon_n + \varepsilon_{pu} + \sum \varepsilon_m + \sum \varepsilon_m, \quad (2)$$

където ε_y е неточност от установяване на заготовката в приспособлението; ε_{ed} - неточности вследствие на еластични деформации на ТС; ε_n - неточност от настройване на ТС на размер, с отчитане на точностните характеристики на използвания метод за настройване; ε_{pu} - неточност от размерно износване на режещия инструмент; $\sum \varepsilon_m$ - неточности на ТС, 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 ТС, в резултат на нагряването 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.

Изчисляването на ε_{Σ} по формула (2) 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 се определя като векторна сума:

$$\vec{\varepsilon}_\Sigma = \vec{\varepsilon}_y + \vec{\varepsilon}_{e0} + \vec{\varepsilon}_n + \vec{\varepsilon}_{pu} + \vec{\varepsilon}_{m_0} + \vec{\varepsilon}_{m_1} \quad (3)$$

Израз (3) 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:

$$\varepsilon_\Sigma = \varepsilon_{y_0} + \varepsilon_{e0_0} + \varepsilon_{n_0} + \varepsilon_{pu_0} + \varepsilon_{m_0} + \varepsilon_{m_1} \quad (4)$$

където индексът "0" означава проекция на вектора по направление на получавания размер.

Израз (4) е подобен на израз (2).

Недостатъците на предложения 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 „квадратичното сумиране“ [7,11,12,16,20]:

$$\varepsilon_\Sigma = p \sqrt{(\lambda_1 \varepsilon_y)^2 + (\lambda_2 \varepsilon_{e0})^2 + (\lambda_3 \varepsilon_n)^2 + (\lambda_4 \varepsilon_{pu})^2 + (\lambda_5 \sum \varepsilon_m)^2} \quad (5)$$

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%) [11,12,14,15].

Известно е, че $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = 1/9$ за първите три неточности, които се подчиняват на закона на Гаус. $\lambda_4 = 1/3$ (закон за равната вероятност), $\lambda_5 = 1/3$ (закон 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 технологията може чрез сумирането им да се определи очакваната точност на параметъра.

• **Анализ и оценка на сумарната неточност и взаимното влияние на нейните съставлящи с отчитане на явлението технологическа наследственост**

Някои автори [4] разглеждат отделно съставните неточности възникващи преди осъществяване на технологичните въздействия (неточност от установяване, неточност от настройване на ТС на размер) и неточностите възникващи при реализиране на технологичните въздействия (неточности вследствие на еластични дефор-

мации на ТС, неточност от размерно износване на режещия инструмент и др.). Независимо от вида на технологичното въздействие, възникването на всяка неточност води до промяна в параметрите на съответното въздействие, което от своя страна влияе на сумарната неточност (чрез изменящите се стойности на възникващите съставни неточности). *Напр. неточността от базиране влияе на разпределението на прибавката, което води до изменение на неточностите свързани със силовите деформации на елементите на ТС МПД.*

Всяко изменение в ТС МПД може да доведе до изменение в различни параметри на взаимодействието, като големината на това изменение може да е незначителна. *Напр., ако в ТС настъпило изменение на една от съставните неточности, то може да доведе до съответно изменение на всички елементи влизащи в системата (в различна степен) и да се отрази на големината на сумарната неточност при обработването.* Изменението обаче може да е незначително по големина в сравнение с допуската на получавания размер. Поради това методът на суперпозицията се използва при определяне на точността при обработване на детайли, с допускни непревишаващи 8 квалитет на точност. За по-тесни допускни прилагането на метода не осигурява необходимата точност на изчисление.

Взаимното влияние на съставните на сумарната неточност при обработване се проявява не само при изпълнението на отделните технологически преходи, но и при изпълнението на целия технологически процес като цяло. При класическият аналитико-изчислителен метод (използващ метода на суперпозицията) определянето на сумарната неточност при обработване се използва за оценка на резултатите от изпълнението само на отделните технологически преходи. Използването му, не дава възможност за проследяване на влиянието на неточностите, възникващи на предходните етапи (преходи) от процеса върху неточностите, формиращи се на следващите етапи. От това може да се направи извода, че за отчитане на явлението технологическа наследственост при определяне на очакваната точност при обработване, е невъзможно използването на метода на суперпозицията, а трябва да се отчита взаимното влияние на съставните на сумарната неточност при обработване. Това е от особено значение при обработване на детайли с висока точност, където при формиране на качеството на готовия детайл важна роля оказва технологичната наследственост и формиращата се технологична среда.

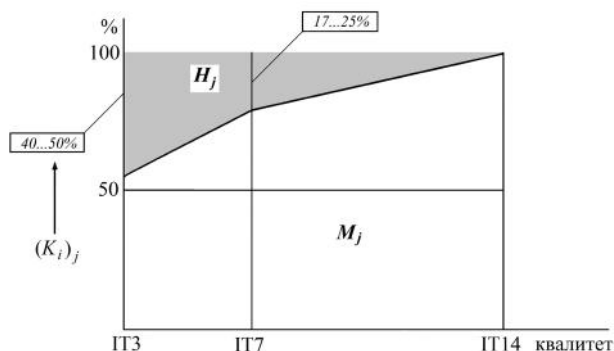
При оценка на трансформацията на заготовката (детайла) ТС е необходимо да се разглежда като физическа система. В този случай определянето на i -тото значение на показателя на качеството след изпълнение на j -тата технологическа операция и описването на механизма на трансформация и съхранение на свойствата на детайлите в хода на технологическия процес може да се представи според някои автори [4] така:

$$(K_{ij}) = M_j + H_j \quad (6)$$

където M_j характеризира механизма на текуща оперативна трансформация на свойствата на изделията; H_j - характеризира влиянието на технологическата наследственост при формиране на показателя (K_{ij}) .

Съотношението на M_j , характеризиращо механизма на текуща оперативна трансформация на свойствата на детайлите и H_j , характеризиращо влиянието на техноло-

гическата наследственост се изменя в зависимост от качителта на точност на получавания размер (фиг. 4) [4]. Анализът на графиката показва, че за детайли с точност на размерите по ГТЗ, делът на технологическата наследственост в стойността на качествения показател е не по-малка от 40%.



Фиг. 4. Съотношение на съставните на оперативната трансформация на свойствата M_j и технологическата наследственост H_j за различните нива на качество [4]

Свойствата на трансформациите на детайлите според някои автори [4], се базират на положенията:

- качеството на детайлите се формира по време на целия технологически процес и множеството на качествени показатели е в резултат на технологическата предистория;
- всяко въздействие (технологическо и свързано с него) на заготовката влияе на изменението на всички нейни свойства;
- изменението на всяко свойство води до изменение на всички останали показатели на качеството на заготовката.

Реализирането на множеството методи за обработка е свързано с проявата на динамичните съставлящи на неточностите. Делът им в общия баланс на точността не е голям, увеличава се с намаляване на допуса и става доминиращ при довършващите обработки. С цел опростяване на решенията, влиянието на тези компоненти няма да се разглежда и подходът за отчитане на взаимното влияние на грешките може да се формулира така:

- всяко технологическо въздействие се разглежда като резултат от взаимодействието върху предмета на производството (нивото на операцията в процеса);
- неточностите възникващи при всяко технологическо въздействие са неизбежни;
- всяко въздействие на заготовката води до промяна в значенията на възникващите съставни неточности;
- изменението на всяка съставна неточност води до изменение на другите съставни неточности;
- значението на всяка съставна неточност се определя от характера и условията на взаимодействие на заготовката при средното ниво на операцията и средното ниво на процеса.

Изхождайки от (6) и на основа на изложената по-горе позиция, значението на неточността P_i , след изпълнение на j -тата операция се определя с израза:

$$(P_i)_j = (P_{co})_j + (P_{cn})_j, \tag{7}$$

където $(P_{co})_j$ е съставлящата на i -тата неточност, възникваща вследствие взаимодействието със заготовката в технологичната среда на нивото на j -тата операция; $(P_{cn})_j$ е съставлящата на i -тата неточност, възникваща вследствие взаимодействието със заготовката в технологичната среда на нивото на процеса, проявяващо се в j -тата операция.

Съставлящата $(P_{co})_j$ на неточността с отчитане на взаимното влияние на съставлящите е

$$(P_{co})_j = (P_d)_j + (P_b)_j, \tag{8}$$

където $(P_d)_j$ е фиксираната (детерминирана) съставляща на $(P_{co})_j$; $(P_b)_j$ - съставляща неточност от взаимното влияние на различните неточности за операцията.

В известен смисъл $(P_b)_j$ се отъждествява със сумарната неточност, определена по аналитико-изчислителния метод, т.е. нейното значение е математическото очакване на съответната неточност.

Замествайки (8) в (7) се получава

$$(P_i)_j = (P_d)_j + (P_b)_j + (P_{cn})_j, \tag{9}$$

Значението на $(P_b)_j$ за i -тата съставляща на неточността $(P_i)_j$ може да се представи във вида

$$(P_b)_j = \sum_{k=1}^{k=I} (a_{ik})_j (P_k)_{Dj}, \tag{10}$$

където k - индекс на съставлящата неточност, $k \neq i$; I - общ брой на съставлящите неточности; $(P_k)_{Dj}$ - фиксираната (детерминирана) съставляща на неточността P_k в j -тата операция; a_{ik} - коефициент на трансформация на неточността P_k в съставлящата неточност P_i в j -тата операция.

Използвайки (10) за неточността ε_{e0} (2^{pa} неточност в (2)), предизвикваща еластични деформации в ТС под действие на силите на рязане, може да се запише

$$\varepsilon_{e0} = (\varepsilon_{e0})_D + a_2 \varepsilon_y (\varepsilon_y)_D + a_2 \varepsilon_n (\varepsilon_n)_D + a_2 \varepsilon_{pu} (\varepsilon_{pu})_D + a_2 \varepsilon_m (\varepsilon_m)_D, \tag{11}$$

където $(\varepsilon_{e0})_D$ е фиксираната (детерминирана) стойност на неточността от еластичните деформации на ТС под влияние на променливото натоварване действащо в системата с променлива стабилност за дадената операция; $a_2 \varepsilon_y$ - коефициент на трансформация на операцията за неточността ε_y в съставлящата ε_{e0} на сумарната неточност; $(\varepsilon_y)_D$ - фиксираната стойност на ε_y ; $a_2 \varepsilon_n$ - коефициент на трансформация на операцията за неточността ε_n в съставлящата ε_{e0} на сумарната неточност; $(\varepsilon_n)_D$ - фиксираната стойност на ε_n на дадената операция; $a_2 \varepsilon_{pu}$ - коефициент на трансформация на операцията за неточността ε_{pu} в съставлящата ε_{e0} на сумарната неточност; $(\varepsilon_{pu})_D$ - фиксираната стойност на ε_{pu} на дадената операция; $a_2 \varepsilon_m$ - коефициент на трансформация на операцията за неточността ε_m в съставлящата ε_{e0} на сумарната неточност; $(\varepsilon_m)_D$ - фиксираната стойност на неточността ε_m на дадената операция.

Всеки от коефициентите на трансформация в (11) показва степента на взаимно влияние на съставлящите неточности при взаимодействие на заготовката с технологичната среда на ниво операция. *Напр. коефициентът a_2 , ε_y показва степента на влияние на неточността ε_y върху неточността ε_{e0} .*

Изразите (8) и (10) могат да се обединят в матрична форма

$$[P_i]_j = [a_{ik}]_j [P_i]_{Dj}, \quad (12)$$

където $[P_i]_j$ е матрица-стълб на пълните значения на съставлящите на сумарната неточност след изпълнение на j -тата операция; $[a_{ik}]_j$ - матрица на коефициентите на трансформация; $i, k = 1 \dots I$; $[P_i]_{Dj}$ - матрица-стълб на фиксираните стойности на сумарната неточност след изпълнение на j -тата операция.

Матрицата (12) притежава свойствата:

- тя е квадратна;
- диагоналните елементи на матрицата са равни на 1 – при $i = k$, $a_{ik} = 1$;
- в общия случай тя не е симетрична спрямо главния диагонал: $a_{ik} \neq a_{ki}$.

Размерът на матрицата може да е произволен и някои от елементите $[a_{ik}]_j$ могат да са равни или близки до нула поради отсъствието или слабото влияние на съответните неточности.

С отчитане на (12) израз (9) добива вида

$$[P_i]_j = [a_{ik}]_j [P_i]_{Dj} + [b_{ik}]_j [P_i]_{D^*j}, \quad (13)$$

където $[b_{ik}]_j [P_i]_{D^*j}$ характеризира влиянието на технологичната среда на ниво процес върху формирането на неточностите при реализация на j -тата операция и показва как неточността, възникваща на произволен предходен етап от предисторията на процеса се проявява на j -ия етап. В сравнение с елементите на матрицата $[a_{ik}]_j$ за елементите на главния диагонал на матрицата $[b_{ik}]_j$ второто условие не е в сила (диагоналните елементи не са равни на 1).

Случайният характер на съставлящите неточности при изчисляване на сумарната неточност в матрична форма може да се обясни на базата на израз (1.4) в [19]. При известни стълбове на съставлящите неточности $[P_i]$ се определят вектор-стълбовете $[\lambda_i P_i]$:

$$\begin{bmatrix} \lambda_i P_i \\ \lambda_i P_i \\ \lambda_i P_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & & \\ \lambda_{ik} & & \\ 0 & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ P_i \\ P_i \end{bmatrix}, \quad (14)$$

където $\begin{bmatrix} 0 & & \\ \lambda_{ik} & & \\ 0 & & \end{bmatrix}$ е диагонална матрица на коефициентите, зависещи от закона на разпределение на неточностите P_i , $\lambda_{ii} \neq 0$, $\lambda_{ik} \neq 0$ при $i \neq k$.

В този случай, крайната стойност на общия квадрат на сумарната неточност се представя във вида

$$\varepsilon^2 = [\lambda_i P_i]^T [P_i], \quad (15)$$

където T е символ за транспониране [5].

Изборът на матричния подход за решаване на поставената задача се налага от това, че:

- матричните съотношения не са свързани с размерността на поставената задача и са в сила при произволен брой елементи, което води до по-универсални резултати при аналитичните изследвания;
- правилата при съставяне на матриците лесно се формализират, което води до намаляване на грешките при въвеждане на данни;
- съществуват програмни продукти за изчисляване на матрици, с което се улеснява проблема свързан с тяхното разработване;
- с помощта на теорията на матриците лесно може да се реши всяка система от линейни алгебрични уравнения.

По този начин за определяне на очакваната точност при обработване използвайки аналитико-изчислителния метод може да се приложи матричния подход, описващ най-пълно механизма на формиране на съставлящите неточности с отчитане на явлението „технологическа наследственост“.

Недостатък на зависимости (3), (4) и (5) е, че повечето елементарни неточности се определят таблично или чрез статистическо обработване на данни.

За отстраняване на този недостатък съществува математически апарат [1,2,16], 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 се определя от израз (16) [1,2], като се отчитат само неточностите, свързани с процеса на снемане на метал:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \varepsilon_j + \varepsilon_{m\partial_u} + \varepsilon_{m\partial_0} + \varepsilon_{u_{pu}}, \quad (16)$$

където ε_j - неточност от недостатъчна стабилност на ТС; $\varepsilon_{m\partial_u}$ - неточност от температурни деформации на режещия инструмент; $\varepsilon_{m\partial_0}$ - неточност от температурни деформации на обработвания детайл; $\varepsilon_{u_{pu}}$ - неточност свързана с износването на режещия инструмент.

Стойностите на елементарните неточности в (16) се определят по изрази дадени в [19]:

Използвайки подхода за определяне на сумарната неточност при обработване, за съставлящите неточности в (16) се получава

$$\begin{aligned} \varepsilon_j &= (\varepsilon_j)_D - a_1 \cdot \varepsilon_{m\partial_u} (\varepsilon_{m\partial_u})_D - \\ &\quad - a_1 \cdot \varepsilon_{m\partial_0} (\varepsilon_{m\partial_0})_D + a_1 \cdot \varepsilon_{u_{pu}} (\varepsilon_{u_{pu}})_D, \\ \varepsilon_{m\partial_u} &= -a_2 \cdot \varepsilon_j (\varepsilon_j)_D + (\varepsilon_{m\partial_u})_D + \\ &\quad + a_2 \cdot \varepsilon_{m\partial_0} (\varepsilon_{m\partial_0})_D - a_2 \cdot \varepsilon_{u_{pu}} (\varepsilon_{u_{pu}})_D, \\ \varepsilon_{m\partial_0} &= -a_3 \cdot \varepsilon_j (\varepsilon_j)_D + a_3 \cdot \varepsilon_{m\partial_u} (\varepsilon_{m\partial_u})_D + \\ &\quad (\varepsilon_{m\partial_0})_D - a_3 \cdot \varepsilon_{u_{pu}} (\varepsilon_{u_{pu}})_D, \\ \varepsilon_{u_{pu}} &= a_4 \cdot \varepsilon_j (\varepsilon_j)_D - a_4 \cdot \varepsilon_{m\partial_u} (\varepsilon_{m\partial_u})_D - \\ &\quad - a_4 \cdot \varepsilon_{m\partial_0} (\varepsilon_{m\partial_0})_D + (\varepsilon_{u_{pu}})_D, \end{aligned} \quad (17)$$

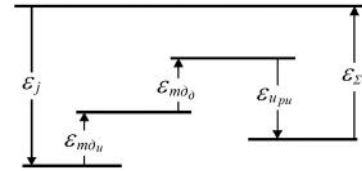
където $(\varepsilon_j)_D$ е фиксираната (детерминирана) стойност на неточността ε_j получаваща се на изпълнявания преход (проход); $a_1, \varepsilon_{m_{\partial_u}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ в съставлящата ε_j на сумарната неточност; $(\varepsilon_{m_{\partial_u}})_D$ - фиксираната стойност на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ на дадения преход (проход); $a_1, \varepsilon_{m_{\partial_0}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ в съставлящата ε_j на сумарната неточност; $(\varepsilon_{m_{\partial_0}})_D$ - фиксираната стойност на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ на дадения преход (проход); $a_1, \varepsilon_{u_{pu}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{u_{pu}}$ в съставлящата ε_j на сумарната неточност; $(\varepsilon_{u_{pu}})_D$ - фиксираната стойност на неточността $\varepsilon_{u_{pu}}$ на дадения преход (проход); a_2, ε_j - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността ε_j в съставлящата $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ на сумарната неточност; $a_2, \varepsilon_{m_{\partial_0}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ в съставлящата $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ на сумарната неточност; $a_2, \varepsilon_{u_{pu}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{u_{pu}}$ в съставлящата $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ на сумарната неточност; a_3, ε_j - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността ε_j в съставлящата $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ на сумарната неточност; $a_3, \varepsilon_{m_{\partial_u}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ в съставлящата $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ на сумарната неточност; $a_3, \varepsilon_{u_{pu}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{u_{pu}}$ в съставлящата $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ на сумарната неточност; a_4, ε_j - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността ε_j в съставлящата $\varepsilon_{u_{pu}}$ на сумарната неточност; $a_4, \varepsilon_{m_{\partial_u}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ в съставлящата $\varepsilon_{u_{pu}}$ на сумарната неточност; $a_4, \varepsilon_{m_{\partial_0}}$ - коефициент на трансформация на прехода (прохода) на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ в съставлящата $\varepsilon_{u_{pu}}$ на сумарната неточност.

Стойностите на величините $(\varepsilon_j)_D, (\varepsilon_{m_{\partial_u}})_D, (\varepsilon_{m_{\partial_0}})_D, (\varepsilon_{u_{pu}})_D$ са тъждествени със стойностите на величините на съответните неточности, получени при използване на класическият аналитико-изчислителен метод.

Знаците на коефициентите на трансформация в (2) се избират с помощта на схемата показана на фиг. 5, като се имат предвид съображенията:

- положителното направление се избира по направление на стрелката на тази неточност която се изчислява (напр. за неточността ε_j положителното направление съгласно схемата (фиг. 5) е отгоре надолу, т.е. в направление на увеличаване на размера за вала);

- коефициентът на трансформация е положителен (със знак „+“), ако направлението на стрелките на неточностите, за които се определя коефициента, съвпада с избраното положително направление, а в противен случай коефициентът на трансформация е отрицателен (със знак „-“) (напр. от фиг. 5, при изчисляване на неточността ε_j коефициента на трансформация на неточността $\varepsilon_{m_{\partial_u}}$ ще е със знак „-“, неточността $\varepsilon_{m_{\partial_0}}$ - „-“, неточността $\varepsilon_{u_{pu}}$ - „+“).



Фиг. 5. Схема за определяне на знаците на коефициентите на трансформация

Елементарните неточности $(\varepsilon_j)_D, (\varepsilon_{m_{\partial_u}})_D, (\varepsilon_{m_{\partial_0}})_D, (\varepsilon_{u_{pu}})_D$ се изчисляват по зависимости в [19].

Изразът (17) може да се представи в матрична форма

$$[P_i]_j = [a_{ik}]_j [P_i]_{Dj}, \quad (18)$$

където $[P_i]_j$ е матрица-стълб на пълните значения на съставлящите на сумарната неточност след изпълнение на j -тия преход (проход); $[a_{ik}]_j$ - матрица на коефициентите на трансформация; $i, k = 1 \dots I$; $[P_i]_{Dj}$ - матрица-стълб на фиксираните стойности на сумарната неточност след изпълнение на j -тата преход (проход).

Израз (18) може да се преобразува във вид, най-удобен за практически пресмятания

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_j \\ \varepsilon_{m_{\partial_u}} \\ \varepsilon_{m_{\partial_0}} \\ \varepsilon_{u_{pu}} \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} I & a_{1, \varepsilon_{m_{\partial_u}}} & a_{1, \varepsilon_{m_{\partial_0}}} & a_{1, \varepsilon_{u_{pu}}} \\ a_{2, \varepsilon_j} & I & a_{2, \varepsilon_{m_{\partial_0}}} & a_{2, \varepsilon_{u_{pu}}} \\ a_{3, \varepsilon_j} & a_{3, \varepsilon_{m_{\partial_u}}} & I & a_{3, \varepsilon_{u_{pu}}} \\ a_{4, \varepsilon_j} & a_{4, \varepsilon_{m_{\partial_u}}} & a_{4, \varepsilon_{m_{\partial_0}}} & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_j \\ \varepsilon_{m_{\partial_u}} \\ \varepsilon_{m_{\partial_0}} \\ \varepsilon_{u_{pu}} \end{bmatrix}_{Dj}. \quad (19)$$

Изчисляването на абсолютните стойности на коефициентите на трансформация се извършва в последователността:

1. Изчисляват се фиксираните стойности на съставлящите $(\varepsilon_j)_D, (\varepsilon_{m_{\partial_u}})_D, (\varepsilon_{m_{\partial_0}})_D, (\varepsilon_{u_{pu}})_D$ на сумарната неточност за зададените технологически условия на обработване ($f, v, a_p, \chi, \chi', r$) и се представят в таблична форма.

2. Определят се коригираните стойности на дълбочината на рязане, с отчитане влиянието на фиксираните стойности на елементарните неточности, като корекцията се извършва по посока на увеличаване или намаляване в зависимост от това какво е влиянието на елементарната неточност върху размера на обработваната повърхнина и по този начин стойностите на дълбочината на рязане се променят спрямо изходните с големина-

та на неточността: $a_{p,1} = a_p - \varepsilon_j$, $a_{p,2} = a_p + \varepsilon_{m_{d_0}}$, $a_{p,3} = a_p + \varepsilon_{m_{d_u}}$, $a_{p,4} = a_p - \varepsilon_{u_{pu}}$.

3. Изчисляват се стойностите на съставлящите $\varepsilon'_{m_{d_u}}$, $\varepsilon'_{m_{d_0}}$, $\varepsilon'_{u_{pu}}$ на сумарната неточност за изходните стойности на подаването и скоростта на рязане, но при $a_{p,1}$, като се отчита влиянието на ε_j върху фактичката дълбочина на рязане.

4. Определят се значенията на съставлящите ε'_j , $\varepsilon'_{m_{d_0}}$, $\varepsilon'_{u_{pu}}$ на сумарната неточност за изходните стойности на подаването и скоростта на рязане, но при $a_{p,2}$, като се отчита влиянието на $\varepsilon_{m_{d_0}}$ върху фактичката дълбочина на рязане.

5. Определят се значенията на съставлящите ε'_j , $\varepsilon'_{m_{d_0}}$, $\varepsilon'_{u_{pu}}$ на сумарната неточност за изходните стойности на подаването и скоростта на рязане, но при $a_{p,3}$, като се отчита влиянието на $\varepsilon_{m_{d_u}}$ върху фактичката дълбочина на рязане.

6. Определят се значенията на съставлящите ε'_j , $\varepsilon'_{m_{d_u}}$, $\varepsilon'_{m_{d_0}}$ на сумарната неточност за изходните стойности на подаването и скоростта на рязане, но при $a_{p,4}$, като се отчита влиянието на $\varepsilon_{u_{pu}}$ върху фактичката дълбочина на рязане.

7. Изчисляват се абсолютните значения на коефициента на трансформация по формулата

$$a_{x,y} = \frac{|(Ax)_D - Ax'|}{(Ay)_D}, \quad (20)$$

където $(Ax)_D$ е фиксираната стойност на неточността Δx за дадения преход (проход); $\Delta x'$ е значението на неточността Δx , определена при режим на обработване, компенсиращ влиянието на неточността Δy на дълбочината на рязане; $(Ay)_D$ е фиксираната стойност на Δy за дадения преход (проход).

Аналогично се изчисляват и коефициентите на трансформация в (19).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Коефициентите на трансформация при обстъргване дават възможност да се определи очакваната точност при обработване чрез прилагането на матричния подход за решаване на всяка система от линейни алгебрични уравнения, описваща най-пълно механизма на формиране на съставлящите неточности с отчитане на явлението „технологическа наследственост“.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Безязычный В. Ф. Назначение режимов резания по заданным параметрам качества поверхностного слоя. - Ярославль: ЯПИ, 1978.

- [2] Безязычный В. Ф., Ю. К. Чарковский, В. Н. Крылов. Технологическое обеспечение эксплуатационных показателей деталей машин - М.: Машиностроение, 2001.
- [3] Васильев А. С. Направленное формирование качества изделий машиностроения в многосвязных технологических средах: дисс. д-ра. техн. наук. - М., 2001.
- [4] Васильев А. С. Направленное формирование свойств изделий машиностроения. М., Машиностроение, 2005.
- [5] Елисаветин, М. А. Технологические способы повышения долговечности машин. - М.: Машиностроение, 1969.
- [6] Кован В. М., А. Б. Яхин Теоретические вопросы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1939.
- [7] Корсаков В. С. Основы технологии машиностроения - М.: Машгиз, 1977. - 186 с.
- [8] Кузманов Т., Х. Метев, К. Крумов, С. Станев Количествена оценка на технологическата наследственост. Научна конференция с международно участие „Приоритетите в транспорта - през моя поглед“. Сб. докл., 10-11.04.2014, Пловдив
- [9] Метев Х., Кузманов Т., Станев С., Крумов К. Анализ и оценка на сумарната неточност и взаимното влияние на нейните съставлящи с отчитане на явлението технологическа наследственост. сп. „Машиностроение и машинознание“, бр.20, Варна, 2014г.
- [10] Метев Х., Кузманов Т., Крумов К., Станев С. Методика за определяне на коефициентите на трансформация при обстъргване с отчитане на явлението технологическа наследственост. сп. „Машиностроение и машинознание“, бр.20, Варна, 2014г.
- [11] Кузманов Т. Технологически основи на управление качеството на машиностроителните изделия. Изд. ТУ-Габрово, Г., 1991.
- [12] Кузманов Т. Технологически основи на управление качеството на машиностроителните изделия. Ръководство за лабораторни упражнения. ТУ-Габрово, 1992.
- [13] Кузманов Т., Х. Метев. Технология на машиностроенето ч.1 (Основи на машиностроителните технологии). Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2005.
- [14] Кузманов Т., К. Крумов. Управление на качеството. Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2013.
- [15] Кузманов Т., К. Крумов. Управление на качеството, ръководство за упражнения. Изд. „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово, Г., 2013.
- [16] Маталин А. А. Технология машиностроения. - Л.: Машиностроение, 1985.
- [17] Соколовский А. П. Научные основы технологии машиностроения - М.-Л.: Машгиз, 1955. - Т. 1. - 586 с.
- [18] 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.
- [19] Станев С. Анализ на методите за определяне на точността при механично обработване с отчитане на явлението технологична наследственост. сп. „Известия на ТУ-Габрово“, т.47, 2013 г.
- [20] Сулов, А. Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. - М.: Машиностроение, 1987.
- [21] 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.
- [22] Васильев А. С., А. М. Дальский, А. С. Клименко и др. Технологические основы управления качеством машин - М.: Машиностроение, 2003.