

Моделиране и характерни особености на грешките от силови деформации

Иван Замфиров

Modeling of the force deformation error and their typical characteristics: A spring model of technological turning system is presented. Based on it is deduced the dependence for the relation between the force deformations and the basic technological factors. The possibilities for definition of permanent, logical and casual errors are analyzed.

Key words: force deformations, modeling, technological factors, errors.

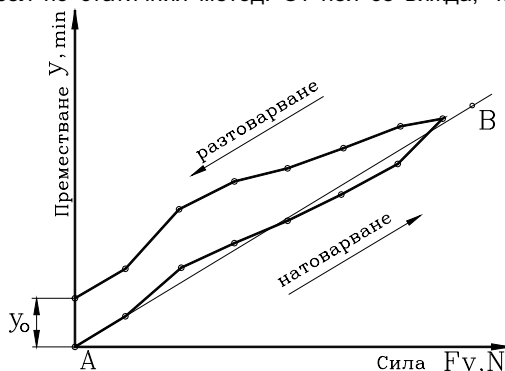
ВЪВЕДЕНИЕ

По време на механичното обработване възникват значителни натоварвания от сили и моменти. Те се стремят да деформират технологичната система машина–приспособление–инструмент–детайл, която в същото време се съпротивлява на тези натоварвания. Получените деформации на елементите на системата МПИД са източник за формиране на грешки от силовите деформации. За съпоставяне на силовите натоварвания и съпротивлението на технологичната система са въведени понятията [2,3,4 и др.] стабилност и податливост. В най-общ случай сумарното преместване в даден възел на технологичната система е сума от: линейни премествания поради обирание на хлабини в съединенията, относителни завъртания на детайлите, контактни деформации на сдружаваните повърхнини и собствени еластични деформации на отделните детайли.

Ситуацията се усложнява значително когато се разглежда възел, състоящ се от няколко детайла и съединения, а още повече цялата технологична система. Описаните по-горе явления могат да протекат в различна последователност за отделните звена. Освен това, при определени условия, сумарното преместване на размерообразувачия връх (ръб) на инструмента спрямо технологичната база може да се формира от номинално постоянни или променливи съставки, т.е. стабилността може да е постоянна или променлива величина.

На фиг.1 са показани графично експериментални резултати, които са типични при определяне стабилността на възел по статичния метод. От нея се вижда, че кривите на натоварване и разтоварване са начупени и не съвпадат. Начупването се дължи на факта, че възлите на металорежещите машини не са напълно еластични, а също и на грешки от измерването. Полученият хистерезис (площа между двете начупени линии) характеризира изразходваната работа за преодоляване на силите на триене, собственото тегло на детайлите и контактните деформации. Отсечката y_0 представлява остатъчната деформация. Ако за същия възел изследването се извърши отново, явлението се повтаря, но хистерезисната площ и y_0 намаляват.

Тъй като източници на тези деформации са действащите сили, се приема грешките, получени от тях да се наричат грешки от силови деформации. От друга



Фиг. 1. Силова характеристика на възел от технологичната система

страна, понеже преместванията от тях в голяма степен са възвратими, с известно приближение може да се говори за грешки от еластични деформации.

ИЗЛОЖЕНИЕ

За установяване на количествена връзка между силите деформации и основните технологични фактори може да се използва пружинния модел (аналог) на технологичната система, показан на фиг.2. При него преместванията на всички съставни звена са пренесени към върха на ножа и се отчитат в направление, нормално на обработената повърхнина. Съпротивителното (еластичното) поведение на тези звена общо се моделира с пружината. С пунктирна линия е показано изходното ненатоварено състояние на системата. Горے вдясно са представени графично силовата характеристика на пружината $F_{y,n}=f(y)$ и на силата на рязане $F_{y,p}=f(t)$. Използвани са следните означения: D_3 , D_d и D_c са диаметрите съответно на заготовката, детайла и на статичното настройване; t_3 и t_ϕ - зададената и фактическата дълбочина на рязане.

Преди започване на работа върха на ножа се настройва така, че да допре до окръжността с диаметър D_c . В началото на процеса рязане технологичната система се деформира от силата на рязане $F_{y,p}$, което на схемата е показано като преместване само на ножа надясно. Това преместване продължава до стойност y , при която настъпва силово равновесие, т.е. когато

$$F_{y,p} = F_{y,n} \quad (1)$$

което на графиката съответства на пресечната точка **A**. От израза за определяне на стабилността **j** и приетия модел:

$$F_{y,n} = j \cdot y \quad (2)$$

От [1 и др.] е известно, че силата на рязане $F_{y,p}$ се определя от израза:

$$F_{y,p} = C_{Fy} t_\phi^{x_{Fy}} S^{y_{Fy}} g^{n_{Fy}} (HB)^{z_{Fy}} k_{Fy} \quad (3)$$

Ако постоянните параметри при установен режим и геометрия на ножа се отчетат с обща константа $C = C_{Fy} S^{y_{Fy}} g^{n_{Fy}} k_{Fy}$, според схемата се изрази $t_\phi = t_3 - y$ и се приеме $x_{Fy} \approx 1$, което е близко до реалната стойност ($x_{Fy} = 0,9$), зависимост (3) добива вида:

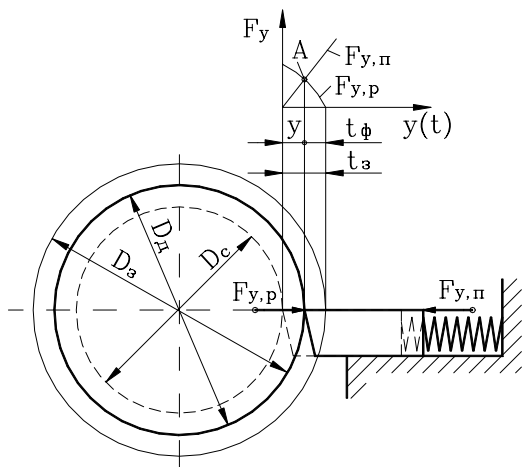
$$F_{y,p} = C(t_3 - y)(HB)^{z_{Fy}} \quad (4)$$

След заместване на (2) и (4) в (1) и решаването му спрямо y се получава:

$$y = \frac{C(HB)^{z_{Fy}}}{j + C(HB)^{z_{Fy}}} t_3 \quad (5)$$

От горната зависимост може да се констатира, че големината на силите деформации зависи от следните фактори:

1. Зададената дълбочина на рязане, която се определя от размерите (прибавката) на заготовките;



Фиг.2. Пружинен аналог на технологичната система

2. Физико-механичните свойства на заготовките, отчетени с твърдостта им **HB** (или σ_B);
3. Стабилността на технологичната система **j**;
4. Номинално постоянните фактори, отчетени с константата **C**.

От зависимост (5) следва, че силовите деформации **y** ще се променят съобразно законите, по които се променят технологичните фактори t_s , **HB**, **j**, а също включените в константата **C**. Свързано с това и конкретните условия, от силовите деформации могат да се получат (поотделно или едновременно) трите вида грешки - постоянни, закономерни и случайни.

1. Постоянни грешки - получават се, когато средните стойности на действащите фактори са по-големи или по-малки от пресметнатите. Например, при обработване на нова партияда заготовки със средно по-големи размери ($t > t_s$) или по-голяма твърдост **HB**, ще се получат детайли със среден по-голям размер D_d . Влиянието на тези грешки се намалява чрез внасяне на корекция в размера на статичното настройване D_c , равна и противоположна на константираната разлика Δy .

2. Закономерни грешки - типични са два източника за такава промяна на силовите деформации.

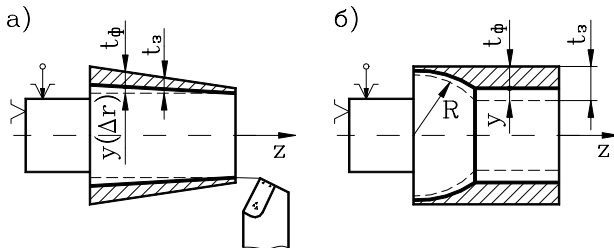
а) Закономерна промяна на дълбочината на рязане. На фиг.3 са показани два примера, при които зададената дълбочина на рязане t_s е функция на осевата координата **z**, като цялата прибавка се снима на един проход. Аналогично на фиг.2 и тук с тънка контурна и пунктирана линия са показани съответно повърхнината на заготовката, на обработената повърхнина и очакваното статично настроено положение на последната при отсъствие на силово натоварване. На първата схема от фиг.3 промяната на дълбочината Δt се получава от грешка на формата - конусност на повърхнината на заготовката, а на втората - от конфигурацията на детайла. В резултат на това се получава грешка на формата на обработената повърхнина в надлъжно сечение $\Delta r = y$, т.е. на силовата деформация **y**.

С помощта на фиг.3,а може да се изясни явлението **технологична наследственост**. То се изразява в това, че детайлите се получават със същите по характер грешки на формата и размерите, каквито има заготовката, но намалени с т.нар. коефициент на уточняване

$$k_y = \frac{\Delta_d}{\Delta_s} ; \quad k_y = \frac{\omega_d}{\omega_s} , \quad (6)$$

където Δ_d и Δ_s са грешките, а ω_d и ω_s - полетата на разсейване на размерите, съответно на детайла и на заготовката. Ако, например, се обработва къса заготовка с ексцентрична прибавка, същата грешка на формата в напречно сечение ще се откопира (ще се наследява) на детайла, но в умален вид. Когато на една повърхнина се изпълняват **n** прехода с коефициенти на уточняване k_{yi} , изходната грешка на заготовката ще се намали с общ коефициент $k_{y\Sigma} = k_{y1} \cdot k_{y2} \cdot \dots \cdot k_{yn}$

Физическото обяснение на технологичната наследственост се свързва с факта, че технологичната система МПИЗ представлява един преобразувател на информация [x]. Нейната стабилност има съществено значение върху коефициента



Фиг.3. Обстъргване със закономерно променлива дълбочина на рязане

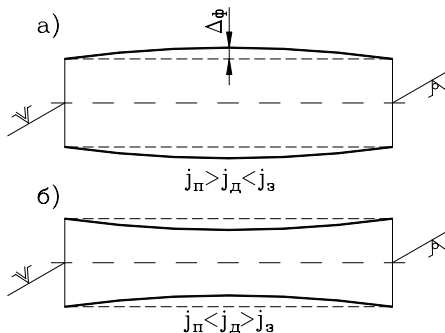
k. Ако се отчете, че $\Delta_\delta = y_{\max} - y_{\min}$, а $\Delta_\delta = t_{\delta \max} - t_{\delta \min}$ и се използват зависимости (5) и (6), се получава:

$$k_y = \frac{C(HB)^{z_{Fy}}}{j + C(HB)^{z_{Fy}}} \quad (7)$$

Когато $j \rightarrow \infty$ (абсолютно стабилна система), $k \rightarrow 0$, то грешката на заготовката ще се отстрани още на първия преход, т.е. $\Delta_\delta \approx 0$. Ако $j \approx 0$, $k \approx 1$, то тогава грешката на заготовката ще се откопира изцяло върху детайла ($\Delta_\delta \approx \Delta_\delta$). При реалните технологични системи Δ_δ се откопирва в определен мащаб върху детайла, като коефициентът k_{yi} се доближава повече до нула, когато стабилността е по-висока. Това означава, че при работа на по-стабилни системи общият коефициент на уточняване $k_{y\delta}$ ще се получи при по-малък брой преходи. Следователно колкото стабилността на системата е по-голяма, толкова точността и производителността ще бъдат по-високи. Осреднено при грубо струговане $k_y = 0,06$; при чисто струговане $k_y = 0,04$; при предварително шлифоване $k_y = 0,03$ и т.н.

Значително по-сложен е характерът на изменение на физико-механичните свойства на повърхностния слой на заготовката, които се наследяват от детайла и се проявяват по време на експлоатацията му.

б) Закономерна промяна на стабилността на технологичната система. Случаят е типичен при струговане и шлифоване на дълги гладки валове, а също при обаботване на дълбоки отвори с двуопорни борщанги. При гладките валове се получава се характерна грешка на формата в надлъжно сечение (фиг.4) в зависимост от съотношението на стабилностите на детайла j_δ и на седлата j_n и j_s . Когато детайлът е с пониска стабилност (фиг.4,а) се получава бъчвообразност, а в противния случай (фиг.4,б) - седлообразност.



Фиг.4. Получавани грешки на формата от променлива стабилност

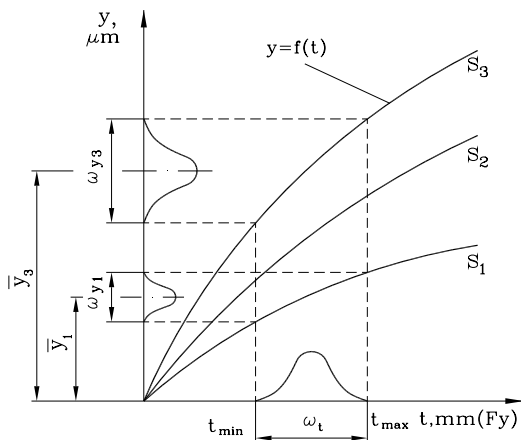
3. Случайни грешки - получават се основно от случайното разсейване на прибавките (t_δ) и твърдостта (HB) на заготовките при обработване на партида заготовки. Тези грешки имат определящо значение, особено при грубото обработване, където относителният им дял в сумарната грешка достига до 80%. Доказано е, че факторите t_δ и HB за партида заготовки имат най-вероятно нормално разпределение.

На фиг.5 е илюстрирано получаването на случайни грешки от силови деформации при разсейване на дълбочината на рязане в поле ω_r с граници $t_{\min} - t_{\max}$. Съгласно казаното в по-горе) зависимостта $y=f(t)$, може да се разглежда като силова характеристика $y=f(F_y)$ на технологичната система. На фигурата са показани три графични зависимости $y=f(t)$ при различно подаване, като $S_1 < S_2 < S_3$.

Както се вижда от нея, при увеличаване на подаването от S_1 на S_3 се получава по-голяма средна стойност $\bar{y}_3 > \bar{y}_1$ на силовите деформации, която се разглежда като постоянна компенсируема грешка, а също по-голямо поле на разсейване $\omega_3 > \omega_1$ на случайната грешка. Налага се извода, че за да се получат по-малки случайни грешки от силови деформации следва да се работи с по-малко подаване. Това обаче означава рязко снижаване на производителността.

Видът на силовата характеристика $y=f(t)$ в значителна степен се определя от главния установъчен ъгъл χ_r на ножа. При $\chi_r \geq 90^\circ$ се получават "отрицателни" силови

деформации, т.е. ножът се внедрява в материала на заготовката. Когато дълбочината на рязане t се увеличава над 0.5mm, нарастването на силовите деформации се стабилизира и зависимостите $y=f(t)$ са близки до линейни ($x_{Fy}=0,9$). Това се обяснява с факта, че рязането се извършва основно с режещия ръб (а не само с върха), при което трите съставни на силата нарастват пропорционално. При дълбочина $t < 0,05 \text{ mm}$ се наблюдава неустойчив процес на рязане, тъй като не може да се постигне устойчиво силово равновесие главно поради двупосочното проявление на хлабините в съединенията на системата.



Фиг.5. Зависимост на силовите деформации от дълбочината на рязане

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От изложеното следва, че при конкретните условия единствено от силовите деформации могат да се получат (поотделно или едновременно) и трите вида грешки - постоянни, закономерни и случайни. Тази характерна особеност ги отличава от останалите първични технологични грешки, При грубото обработване доминиращи са случайните грешки, а при променлива прибавка или стабилност на системата - закономерните. Друга особеност при случайните и закономерните, породени от променлива прибавка е, че върху детайла се пренасят същите по характер грешки (или разсейване) от заготовките, но намалени с определен мащаб, наречен коефициент на уточняване.

Свързано с горното технологичната наука и практика не е дала единно и всеобхватно решение за управление и намаляване на грешките от силови деформации. Това решение следва да се взема съобразно конкретните условия. В някои случаи най-ефективно може да се окаже адаптивното управление, а в други – прости и доказани технологични модели, свързани с повишаване стабилността на системите или чрез метода на размерообразуване.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Велчев Ст. Рязане на металите, Печ. база на ВТУ"Ан.Кънчев", 1984.
- [2] Георгиев В. Технология на машиностроенето, ИПЗ, ТУ, ф-л Пловдив, 2003.
- [3] Диков А., Технология на машиностроенето, С. „Софтрейд“, 2006.
- [4] Маталин А. Технология машиностроения, Л. Машиностроение, 1985.

За контакти:

Доц.д-р Иван Замфиров, катедра „Технология на машиностроенето и металоурежещи машини“, Русенски университет „Ангел Кънчев“, тел.:082 888 822, Е-mail: zamfirov@ru.acad.bg.

Докладът е рецензиран.