

Теоретично изследване на силовите деформации на разстъргващ инструмент

Милко Енчев, Светлана Колева

Theoretic Study of the Force Deformations of a Boring Tool: The stability of the cutting tool is a significant problem when machining openings. The deformation of the tip of the cutting tool is a result of the cutting forces in the direction of dimensional machining and is the sum of volume and contact deformations. Derived are dependencies for determining the deformations resulting from the action of the axial and radial cutting forces, as well as assessing the volume and contact pliability of the cutting tool. The proportion of the volume and the contact pliability on the due to both types of cutting forces is determined theoretically.

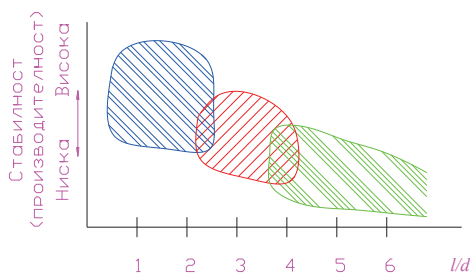
Key words: Tool deflection, cutting force, stability

ВЪВЕДЕНИЕ

Осигуряването на конкурентността при изработване на детайлите (получаване на качеството при максимална производителност и минимални разходи) налага генериране на подходящи технологични решения, които за конкретните условия осигуряват постигането на целта. В редица случаи се налага да се работи на границата на надеждността на технологичните процеси и за да се гарантира тяхната работоспособност трябва добре да са определени действащите смущаващи фактори. При обработване на детайлите МРМ с ЦПУ стратегия за максимална ефективност се реализира посредством съвмещаване на две и повече операции в една и при възможност цялостно обработване на детайла при едно установяване по черна технологична база. Целта е съкращаване на спомагателно време и технологична екипировка [1, 3]. Освен това тази схема предполага по-голямо приложение на настроените бази и съответно по-лесно осигуряване на точността на размерите. В редица случаи обработването е свързано с голям излет на заготовката, създаващо условия за обработване с недостатъчна стабилност, която допълнително се снижава от установяването по черна база. Появяването в последните години на ефективни отрезни пластини прави изгоден използването на групови заготовки (пръти с диаметър до 60мм), като се избягва операцията за разкрояване и дава възможност за обработване при минимален брой установявания.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Проблемът със стабилността при струговото обработване преди всичко се свързва с разстъргващите инструменти. Този метод на обработване е универсален, осигурява точността в разположението на повърхнините, борщангите са по-евтини от размерните инструменти, един инструмент се използва за обработване на различни по диаметър повърхнини, при износване се подменя само режещата пластина и др. С разстъргващи инструменти със сменяеми режещи пластини могат да



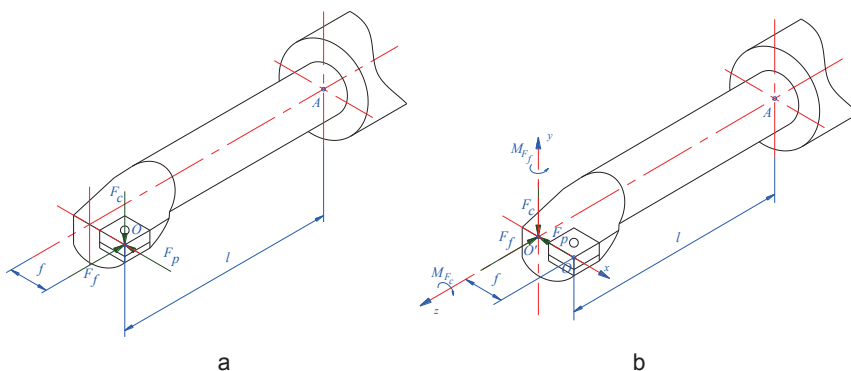
Фиг. 1 Диаграма стабилност – l/d

се обработят отвори с минимален размер $\Phi 7\text{mm}$, а с монолитни твърдосплавни – до $\Phi 0.3\text{mm}$ [4, 5, 6]. Дължината на разстъргваните отвори се ограничава от стабилността на инструмента и от евакуацията на стружките. При излет на инструмента $\frac{l}{d} \leq 2$, стабилността е висока и се осигурява максимална (обемна) производителност (фиг.1). При $2 \leq \frac{l}{d} \leq 4$ производителността е

добра и се постига качеството на повърнината, характерно за метода. Когато $\frac{l}{a} \geq 4$ производителността и качеството започват да спадат рязко, навлизайки в зоната на вибронеустойчивостта.

Разглежданите по-горе стойности са обобщаващи, защото: стабилността не е право пропорционална на $\frac{l}{a}$; стабилността зависи от качеството на установяване на инструмента и обработвания материал; обемната производителност не винаги е определяща, защото в много от случаите разстъргването се прилага като преход за окончателно обработване. За качествено проектиране и осигуряване на надеждността на технологичните процеси е нужно да са установени достоверните стойности на смущаващите фактори и параметрите на технологичните системи.

По време на рязане разстъргващите инструменти се разглеждат като запънати греди, натоварени в свободния си край със силите на рязане, с приложна точка размерообразуващия връх на пластината – т.О (фиг.1,а). От гледна точка удобство при изчисленията, приложната точка на силите се премества в оста на инструмента в т.О' (фиг.1,б).



Фиг.2 Натоварване на разстъргващ инструмент от силите на рязане

В резултат от действието на силата F_p инструментът е подложен на напречно специално огъване. Моментът M_{F_f} , породен от силата F_f , предизвиква чисто специално огъване, а моментът M_{F_c} от силата F_c – усукване. Тези сили и създадените от тях моменти предизвикват деформации на тялото на инструмента, които се отразяват върху точността на получавания размер.

В редица литературни източници силовите деформации на инструмента като фактор, влияещ на точността, се разглеждат само като резултат на обемните деформации от радиалната сила на рязане F_p [4, 5]. Но при работа в граничните условия, върху формирането на деформациите влияние оказват контактната стабилност в установъчните елементи и останалите сили на рязане. Общата деформация (преместване) на върха на инструмента по направление на размерообразуването представлява сума от обемни y_o и контактни y_k деформации:

$$y = y_o + y_k \quad (1)$$

1. Обемни деформации;

Пораждат се в резултат на действието на силата F_p и момента M_{F_f} .

$$y_o = y_o' - y_o'' \quad (2)$$

- обемни деформации y_o' от F_p

Известна е зависимостта за определяне на силовите деформации на технологичната система [1], според която

$$y'_o = \frac{C_{Fp}(HB)^{z_{Fp}} h_{ver}^{w_{Fp}}}{j'_o + C_{Fp}(HB)^{z_{Fp}} h_{ver}^{w_{Fp}}} a_{p,3} \quad (3)$$

в която с константата C са отбелязани постоянните параметри при установен режим на обработване и геометрия на ножа; $a_{p,3}$ - зададената дълбочина на рязане; HB - твърдостта, задаваща физико-механичните характеристики на обработваемия материал; j'_o - обемната стабилност. Изразът в знаменателя $C_{Fp}(HB)^{z_{Fp}} h_{ver}^{w_{Fp}}$ като величина от порядък, по-нисък от порядъка на j'_o , се пренебрегва, за да се опрости анализа на действащите фактори без това да се отрази практически на резултатите.

Инструментът се разглежда като запъната греда с дължина L , натоварена в свободния си край с пасивната сила на рязане F_p . От [2] преместването, което извършва коя да е точка от сечението, в което действа силата – върха на инструмента, се определя по зависимостта:

$$y'_o = \frac{F_p L^3}{3EJ} = \frac{F_p}{\frac{3EJ}{L^3}} \quad (4)$$

Тъй като $y = F/j$, то изразът в знаменателя представлява обемната стабилност:

$$j'_o = \frac{3EJ}{L^3} = \frac{3E\pi d^4}{64L^3} = A \frac{d}{k^3} \quad (5)$$

където $k = L/d$; d – диаметър на инструмента; $A = \frac{3E\pi}{64}$, E – модул на еластичност; J – инерционен момент.

След заместване на обемната стабилност j'_o в израза за преместването y'_o се получава:

$$y'_o = \frac{C_{Fp}(HB)^{z_{Fp}} h_{ver}^{w_{Fp}}}{\frac{A}{k^3}} a_{p,3} = \frac{C_{Fp}(HB)^{z_{Fp}} h_{ver}^{w_{Fp}} k^3}{Ad} a_{p,3} \quad (6)$$

- обемни деформации y''_o от момента от M_{Ff} .

$$M_{Ff} = F_f f \quad (7)$$

където f е положението на размерообразувания връх на пластината спрямо оста на инструмента.

$$y''_o = \frac{M_{Ff} L^2}{2EJ} = \frac{F_f f L^2}{2EJ} \quad (8)$$

$$j''_o = \frac{2EJ}{L^2} = \frac{2E\pi d^4}{64L^2} = B \frac{d^2}{k^2} \quad (9)$$

$$y''_o = \frac{C_{Ff}(HB)^{z_{Ff}} h_{ver}^{w_{Ff}}}{\frac{B}{fk^2}} a_{p,3} = \frac{C_{Ff}(HB)^{z_{Ff}} h_{ver}^{w_{Ff}} fk^2}{Bd^2} a_{p,3} \quad (10)$$

2. Контактни деформации;

$$y_k = y'_k - y''_k \quad (11)$$

- контактни деформации y'_k от F_p ;

Контактни деформации в базовите повърхнини на инструмента и нождържача, предизвикани от огъващия момент, породен от пасивната сила на рязане F_p , са:

$$M_{Fp} = F_p L = j_k \theta \quad (12)$$

където

$$j_k = \frac{M_k}{\theta} \quad (13)$$

е контактната стабилност [3]; θ - завъртане на инструмента под действие на огъващия момент; M_k – съпровителен момент от контактните деформации.

За да се преведе преместването във върха на инструмента, двете страни на равенството се умножават с L . След заместване в израза на зависимостта за пасивната сила и на преместването y'_k на върха на инструмента, предизвикано от огъващия момент, се получава:

$$C_{F_p}(a_{pз} - y'_k)(HB)^{z_{F_p}} h_{ver}^{w_{F_p}} L^2 = j_k y'_k \quad (14)$$

Изражява се преместването на върха на инструмента

$$y'_k = \frac{C_{F_p} a_{pз} (HB)^{z_{F_p}} h_{ver}^{w_{F_p}} L^2}{j_k + C_{F_p} (HB)^{z_{F_p}} h_{ver}^{w_{F_p}} L^2} \quad (15)$$

и след заместване на j_k :

$$y'_k = \frac{C_{F_p} (HB)^{z_{F_p}} h_{ver}^{w_{F_p}} L^2}{\frac{M}{\theta}} a_{pз} \quad (16)$$

- контактни деформации y''_k от момента, създаван от F_f ;

$$M_{F_f} = F_f f = j_k \theta \quad (17)$$

$$C_{M_{F_f}}(a_{pз} - y''_k)(HB)^{z_{F_f}} h_{ver}^{w_{F_f}} f L = j_k y''_k \quad (18)$$

$$y''_k = \frac{C_{F_f} (HB)^{z_{F_f}} h_{ver}^{w_{F_f}} f L}{\frac{M}{\theta}} a_{pз} \quad (19)$$

Сумарната деформация на инструмента по направление на размерообразуването е:

$$y = y_o + y_k = \frac{C_{F_p} (HB)^{z_{F_p}} h_{ver}^{w_{F_p}} k^3}{Ad} a_{p,з} - \frac{C_{F_f} (HB)^{z_{F_f}} h_{ver}^{w_{F_f}} f k^2}{Bd^2} a_{p,з} + \frac{C_{F_p} (HB)^{z_{F_p}} h_{ver}^{w_{F_p}} L^2}{\frac{M}{\theta}} a_{pз} - \frac{C_{F_f} (HB)^{z_{F_f}} h_{ver}^{w_{F_f}} f L}{\frac{M}{\theta}} a_{pз} \quad (20)$$

След преобразуване се получава:

$$y = y_o - y_k = \left[C_{F_p} (HB)^{z_{F_p}} h_{ver}^{w_{F_p}} \left(\frac{k^3}{Ad} + \frac{L^2}{\frac{M}{\theta}} \right) - C_{F_f} (HB)^{z_{F_f}} h_{ver}^{w_{F_f}} \left(\frac{fk^2}{Bd^2} + \frac{fL}{\frac{M}{\theta}} \right) \right] a_{pз} \quad (21)$$

Събираемите в скобите представляват обемните ($w_{F_p,0}$ и $w_{F_f,0}$) и контактните ($w_{F_p,k}$ и $w_{F_f,k}$) податливости на инструмента, съответно за радиалната и осовата сили. За контактните податливости на системата няма аналитична зависимост, затова се търси начин те да се представят или определят като част от обемните, за които има такава. Параметъра f се представя във функция на диаметъра:

$$f = md \rightarrow m = \frac{f}{d} \quad (22)$$

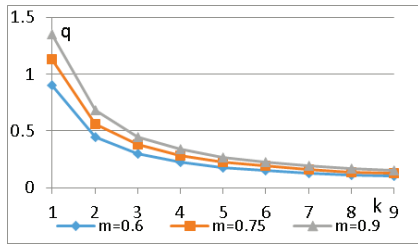
и се намира отношението между обемните податливости:

$$q = \frac{w_{F_f,0}}{w_{F_p,0}} = \frac{\frac{fk^2}{Bd^2}}{\frac{k^3}{Ad}} = \frac{1.5fk^2}{Ad} = \frac{1.5f}{dk} = \frac{1.5m}{k} \quad (23)$$

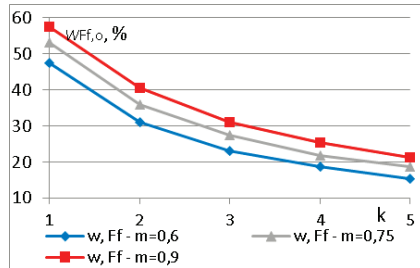
Графично е представена зависимостта $q = f(k)$ (фиг.3) за три стойности на m . Данни за m са взети от каталози на фирмите, произвеждащи металорежещи инструменти. В случая са използвани размери на разстъргващи инструменти с T -пластини и диаметри на тялото от 6 до 20mm.

Вижда се, че влиянието на m върху отношението на обемните деформации q е слабо изразено. Интензивността на промяна на q намалява с увеличаване на k като при $k \geq 4$ параметъра q се променя незначително в границите от 0,3 до 0.18.

Посредством q може да се определи дяла в проценти на податливостите в общата. На графика на фиг.4 това е направено за податливостта $w_{F_f,0}$.



Фиг.3 Графика на зависимостта $q = f(k)$

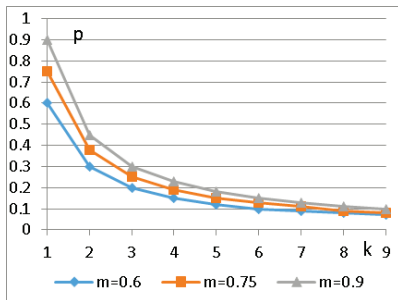


Фиг.4 Процентен дял на обемната податливост $w_{F_f,0}$

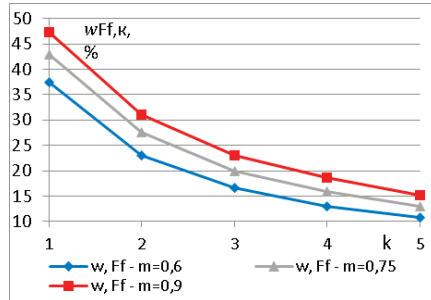
Намаляването на дела на $w_{F_f,0}$ за сметка на увеличаването на $w_{F_p,0}$ се обяснява с това, че при едни и същи други параметри влиянието k е по-силно върху деформациите, предизвиквани от радиалната сила спрямо тези, създавани от момента от осовата сила (зависимост 23). В зоната на недостатъчна стабилност $k = 4 \div 6$ осовата сила на рязане F_f ще предизвиква до 20% от обемните еластични деформации на инструмента. При това благоприятното влияние на момента от осовата сила F_f върху сумарните деформации на инструмента ще намалява с увеличаване на k . За оценяване на податливостите, предизвикващи контактни деформации под действие на радиалната сила на рязане F_p и на момента, породен от осовата сила на рязане F_f , се намира отношението:

$$p = \frac{w_{F_f,k}}{w_{F_p,k}} = \frac{\frac{fL}{\frac{M}{\vartheta}}}{\frac{L^2}{\frac{M}{\vartheta}}} = \frac{f}{L} = \frac{m}{k} \quad (24)$$

Графично е представена зависимостта $p = f(k)$ за три стойности на m (фиг.5).



Фиг.5 Графика на зависимостта $p = f(k)$



Фиг.6 Процентен дял на контактната податливост $w_{F_f,k}$

Тук са в сила същите разсъждения, като за q , но за $k \geq 4$ стойността на p е в границите 0.15-0.1. В резултат на това осовата сила на рязане F_f ще предизвиква до 15% от контактните деформации на инструмента (фиг.6).

Тези стойности за дела на деформациите от осовата и радиалната сили на рязане са определени при условие, че $F_f = F_p$.

При условие, че силите не са равни, резултантната деформация на разстъргващия инструмент се представя с израза:

$$y = F_p (w_{F_p,o} + w_{F_p,k}) - F_f (w_{F_f,o} + w_{F_f,k}) = F_p (w_{F_p,o} + w_{F_p,k}) - F_f (qw_{F_p,o} + pw_{F_p,k}) \quad (25)$$

За да се определи влиянието на осовата сила на рязане в общата деформация, се правят някои преобразования. Правят се следните полагания и преобразования:

$$\frac{w_{F_p,k}}{w_{F_p,o}} = a, \quad \frac{F_f}{F_p} = b \quad (26)$$

$$y = F_p (w_{F_p,o} + aw_{F_p,o}) - bF_p (qw_{F_p,o} + apw_{F_p,o}) \quad (27)$$

$$y = F_p w_{F_p,o} [(1+a) - b(q+ap)] \quad (28)$$

Умаляването в израза отразява дела на радиалната сила, а умалителя – на осовата в сумарната деформация на инструмента. Намира се отношението t/s :

$$(1+a) = s, \quad b(q+ap) = t \quad \Rightarrow \quad \frac{t}{s} = \frac{b(q+ap)}{(1+a)} \quad (29)$$

От извършените теоретични изследвания за параметрите q и p (фиг.5 и фиг.6) са получени стойностите:

$$k = \frac{L}{a} = 3 \div 6 \rightarrow q = 0.45 \div 0.13 ; p = 0.3 \div 0.1 \quad (30)$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На база направените теоретични изследвания може да се обобщи:

1. Сумарната деформация на разстърговащ инструмент по направление на размерообразуване се предизвиква от противоположното действие на осовата F_f и радиалната F_p сили на рязане, пораждащи както обемни, така и контактни деформации;

2. С увеличаване на излета на инструмента влиянието на осовата сила на рязане F_f върху настъпващите обемни и контактни деформации намалява за сметка на увеличаване въздействието на радиалната F_p ;

3. Осовата сила на рязане F_f при съотношение $\frac{L}{a} = 3 \div 6$ има малък процентен дял върху деформациите на инструмента – около 10% и при провеждане на експериментални изследвания за установяване на действителните стойности на радиалната сила на рязане може да се приеме, че деформациите на инструмента са предизвикани основно от силата F_p ;

4. За определяне на съотношението между податливостите, породени от радиалната и осовата сили на рязане, са необходими допълнителни изследвания.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Замфиров И., Енчев М., Ненов Г., Технология на машиностроенето, ч.1, Основи на технологията на машиностроенето. Русе, РУ "Ан.Кънчев", 2006, стр. 160, ISBN 10 : 954-712-331-0.

[2] Кисьов И., Таблици по съпротивление на материалите, ДИ Техника, С., 1985;

[3] Фадюшин И.Л. и др., Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС, Москва, Машиностроение, 1990;

[4] ISCAR catalogue – turning tools;

[5] SANDVIK catalogue – turning tools;

[6] WALTER catalogue.

За контакти:

Доц. д-р Милко Енчев, катедра ТММРМ, Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 653, e-mail: menchev@uni-ruse.bg

Гл.ас.Светлана Колева, катедра ТММРМ, Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 653, e-mail: svetla@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.