Изследване на размерообразуването при струговане на валове с подвижен двуножов блок

Веселин Григоров, Нели Георгиева, Михаил Кършаков, Деян Димитров

Analysis of dimensions-formation turning shaft with movable two-blade block. *For turning long and smooth shafts are often used movable two-blade blocks cutting parts, located at 180°. They provide high stability of the technological system and the accuracy of the obtained dimensions.*

The article outlined a theoretical study of the influence of the axial displacement of the cutting edges on the diameter of the treated surface. Dependencies were obtained for quantitative assessment of this influence which has practical application.

Keywords: *shaft, cutting inserts, working angles, axial displacement, movable block*

ВЪВЕДЕНИЕ

При струговане с подвижен двуножов блок (ПДБ) размерът на динамичното настройване се формира в резултат от непрекъснатия стремеж към динамично равновесие между радиалните компоненти на двете сили на рязане, действието на които се ограничава в системите на инструмента и заготовката. При определени предпоставки колебанието на прибавката почти не се отразява на размера на динамичното настройване, което е важно условие за постигането на висока точност на размера и формата в напречно направление. Най-съществена от тях е едноименните точки от главните режещи ръбове на срещуположно разположените режещи пластини да лежат в равнина, перпендикулярна на оста на въртене. На практика посочената предпоставка не се реализира и единият от главните режещи ръбове на двете режещи части се включва в рязането по-рано, изпреварвайки другия с големината на разместването им в осово направление. Това води до намаляване на диаметъра на обработваната повърхнина спрямо размера на статичното настройване на подвижния блок.

За да е възможно регламентирането на този ефект е необходимо да се изследва влиянието на осовото разместване на режещите пластини върху диаметъра на обработената повърхнина, формата и размерите на срязваните слоеве.

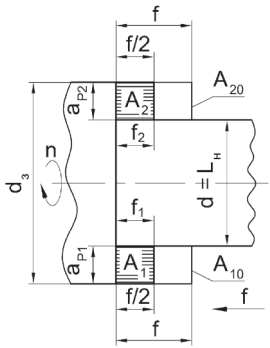
ИЗЛОЖЕНИЕ

Като се пренебрегне различието в интензивността на износването и се вземе предвид еднаквата геометрия на двете режещи части може да се приеме хипотезата, че силите на рязане са пропорционални на площта и не се влияят съществено от формата на сечението на срязвания слой. Това дава основание да се допусне, че уравновесяването на радиалните им съставляващи настъпва при изравняване големината на площите на срязваните от срещуположните режещи части слоеве.

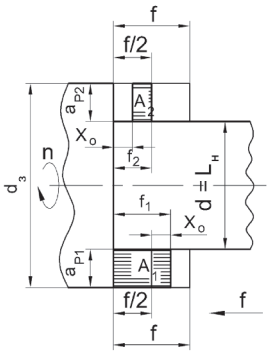
При определени условия, включващи геометрични и режимни параметри на рязането, двете режещи части си влияят взаимно, което намира израз в промяна на размерите и (или) формата на срязваните от тях слоеве. Това влияние е различно и може да се анализира по-лесно, ако се въведат следните предпоставки:

- осите на симетрия на блока и вала съвпадат с оста на въртене; главният и спомагателният установъчни ъгли φ_r и $K_r`$ са съответно 90º и 0º;
- еластичните деформации в технологичната система са пренебрежими; отклоненията на формата на повърхнината на заготовката са незначителни;
- силите на триене в направляващите на подвижния блок не се отчитат;
- главното движение се извършва от заготовката, а подавателното – от инструмента.

Осовото разместване на главните режещи ръбове се отразява както върху геометричните, така и върху технологичните размери на срязваните от всяка режеща пластина слоеве. Интерес представляват последните, тъй като са свързани с режима на рязане, от който зависи производителността на процеса и качеството на обработените повърхнини. При ПДБ тази връзка е сложна и за нейното обосновано изясняване е необходимо да се направи геометричен анализ, който да започне с разглеждането на неподвижен двуножов блок (НДП).



Фиг.1. Сечение на срязваните слоеве при НДБ без осово разместване ($X_0 = 0$) на режещите пластини, работещи при Kr = 90°



Фиг.2. Сечение на срязваните слоеве при НДБ с осово разместване $0 < X_0 < f/2$ на режещите пластини, работещи при $K_r = 90°$

НДБ работи като обикновен двузъб инструмент, при което технологичният размер *f* на сечението на срязвания слой при подаване *f* се разделя между двете режещи части, от които долната е приета условно за първа.

С други думи и двете режещи части се преместват със скорост f, а разделят помежду си сечението на срязвания слой, което ще отнема само единият от тях.

При осово разместване $X_0 = 0$ (фиг.1) $f_1 = f_2 = f/2$, при което площите на сеченията на срязваните слоеве са еднакви, т.е. $A_1 = A_2$, а радиалните компоненти (F_{p1} и F_{p2}) на силите на рязане се уравновесяват.

При осово разместване $0 < X_0 < f/2$ (фиг.2) сечението, падащо се на втория нож намалява с големината на разместването X_0, а сечението на първия нож нараства с толкова, т.е.

$$f_1 = \frac{f}{2} + X_0; \quad f_1 = \frac{f}{2} - X_0;$$

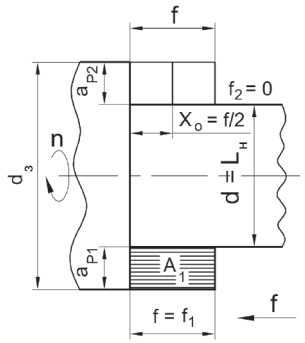
При осово разместване $X_0 = f/2$ (фиг.3) горната режеща част прекратява рязането, при което: $f_1 = f$; $f_2 = 0$; $A_2 = 0$.

Очевидно е, че тази стойност на разместването е гранична, т.е. случаят е характерен при $X_0 \geq f/2$.

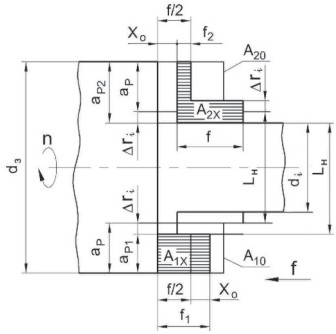
И в трите случая диаметърът на обработената повърхнина (d) остава равен на размера на статичното настройване на блока (L_H), измерен като разстояние между върховете на режещите му части, проектирани в равнина, перпендикулярна на оста на въртене. При това за дълбочините на рязане може да се запише:

$$a_p = a_{p_1} = a_{p_2} = \frac{d_з - L_H}{2}, \qquad (1)$$

където $d_з$ е диаметъра на заготовката.



Фиг.3. Сечение на срязваните слоеве при НДБ с осово разместване $X_0 \geq f/2$ на режещите пластини, работещи при $K_r = 90°$



Фиг.4. Сечение на срязваните слоеве при ПДБ с осово разместване $0 < X_0 < f/2$ на режещите пластини, работещи при $K_r = 90°$

При случаите на фиг.2 и фиг.3 възниква резултантна сила ΔF_p, стремяща се да премести блока в радиално направление.

ПДБ се отличава по това, че не понася наличието на резултантна радиална сила. По време на рязане той се стреми към равновесно, по отношение на радиалните сили, положение за сметка на промяна на параметрите на срязваните от двете режещи части слоеве.

При осово разместване $X_0 = 0$ формата и размерите на сеченията на срязвания слой, както и получаваният диаметър, съответстват на тези, показани на фиг.1.

При осово разместване $0 < X_0 < f/2$ възникват различия в технологичните размери f_1 и f_2 и площите A_1 и A_2 на сеченията на срязваните слоеве. В този случай, под действие на силата $\Delta F_p = F_{p_1} - F_{p_2}$, ПДБ се премества радиално към втората режеща част до момента, в който $\Delta F_p = 0$. Настъпилите в резултат от това промени във формата и размерите на сеченията на срязваните слоеве са показани на фиг.4. със следните обозначения:

A_{1_0} и A_{2_0} – площите на сеченията с размери *f* съответно на първа и втора режещи части ако $X_0 = 0$ (съгласно фиг.1);

A_{1x} и A_{2x} – площите на сеченията на срязваните слоеве при осово изоставане на втората режеща част с X_0;

[Δr_i] – радиално преместване на блока в посока към втората режеща част в резултат от разместването X_0.

За получаване големината на диаметъра [d_i] е необходимо определянето на радиалното преместване Δr_i, тъй като

$$d_i = L_H - 2\Delta r_i \qquad (2)$$

Като следствие от разместването X_0 сечението на срязвания слой от първата режеща част увеличава дебелината си с големината на X_0 и намалява широчината си с Δr_i.

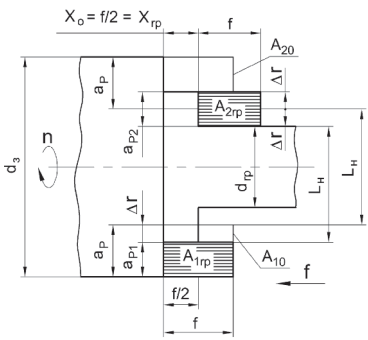
В същото време сечението на срязвания слой от втората режеща част намалява дебелината си с X_0 и компенсира загубата на площ чрез слой с широчина $2\Delta r_i$.

Видно е, че първото сечение променя само размерите си, достигайки дебелина f_1 и широчина a_{p_1}, а второто – размерите и формата си, при което се формират участъци с различни дебелини и широчини. Съгласно предпоставките промените на двете сечения се преустановяват при уравновесяване на радиалните сили, което съответства на равенство на площите им.

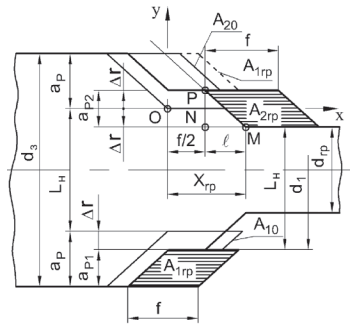
Площите на срязвания слой от първата и втората режещи части са:

$$A_1 = f_1.a_{p_1} = \left(\frac{f}{2} + X_0\right)a_{p_1}, \tag{3}$$

$$A_2 = f_2.a_{p_2} + 2\Delta r_i\left(\frac{f}{2} + X_0\right) \tag{4}$$



Фиг.5 Сечение на срязваните слоеве при ПДБ с осово разместване $X_0 \geq f/2$ на режещите пластини, работещи при $K_r = 90°$



Фиг.6. Сечение на срязваните слоеве при ПДБ с осово разместване $X_0 > Xгр$ на режещите пластини, работещи при $K_r < 90°$

След приравняване на (3) и (4) и заместване с

$$a_{P1,2} = \frac{d_з - L_н}{2} \mp \Delta r_i \tag{5}$$

се получава:

$$\Delta r_i = \frac{X_0(d_з - L_н)}{2(X_0 + f)} \tag{6}$$

След заместване на (6) в (2) и (5)

$$d_i = L_н - \frac{X_0(d_з - L_н)}{X_0 + f}, \tag{7}$$

$$a_{P1,2} = \frac{d_з - L_н}{2}\left(1 \mp \frac{X_0}{X_0 + f}\right), \tag{8}$$

При разместване $X_0 \geq f/2 = Xгр$ (фиг.5) сеченията на срязваните слоеве от двете режещи части не се застъпват и не си влияят взаимно в направление на подаването движение. Изравняването на площите се извършва за сметка на промяна на размерите им само в радиално направление чрез преместване на блока на разстояние Δr, при което сеченията получават еднакви форма и размери. Следователно това е максималното радиално преместване на блока, за

пресмятането на което във формула (6) X_0 трябва да се замести с $f/2$, при което

$$\Delta r = \frac{d_з - L_и}{6} \quad . \tag{9}$$

Ако същото заместване се направи във формула (7) и се отчете, че $a_{p_1} = a_{p_2} = 2\Delta r$ се получава:

$$d_{kp} = L_и - \frac{d_з - L_и}{3} \tag{10}$$

и

$$a_{p_1} = a_{p_2} = \frac{d_з - L_и}{3}. \tag{11}$$

Ако от приетите ограничения отпадне условието $\kappa_r = 90^o$, то за определяне на диаметъра на вала и дълбочините на рязане при разместване X_0=0 и $X_0 \geq X_{гр}$ са в сила същите съображения и зависимости, изложени при $\kappa_r = 90^0$. Това не може да се каже за случая на разместване $0<X_0<X_{гр}$.

При κ_r <90º граничното осово разместване $X_{гр} > f/2$, а радиалното преместване Δr_i не може да бъде намерено чрез изравняване на площите на двете сечения на срязваните слоеве. За определянето им се използват фиг.6, в която означенията съвпадат с тези на фиг.7, а графичното им построяване е изпълнено при следните съображения:

• Площите на сеченията от двете режещи части при размери f и X_0=0 отговарят на изходно (начално) положение на блока и са означени с A_{10} и A_{20} .

Ако втората режеща част получи осово разместване $X_0=X_{гр}$ (фиг.6) блокът се премества на максимално разстояние Δr, при което сечението й заема положението, означено с $A_{2гр}$, а сечението на първата част - $A_{1гр}$. При това работата на първата режеща част намалява диаметъра от $d_з$ до d_1, а на втората - d_1 до $d_{гр}$. Огледалният образ на площта $A_{1гр}$ е площта $A_{1гр}$.

Средната линия на контура на последната, отстояща на разстояние $f/2$ от краищата му в осово направление, съвпада с граничното положение на главния режещ ръб на втората режеща част, определящо дали двете сечения ще си влияят взаимно.

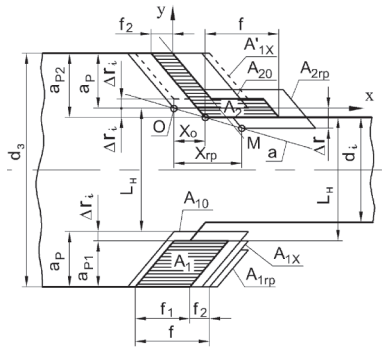
В координатната система XOY разместването $X_{гр}$ се явява абсциса на пресечната точка (M) на средната линия и линията, успоредна на оста OX и имаща ордината - Δr .

• При преместване на втората режеща част от $X_0 = X_{гр}$ към X_0=0 блокът се придвижва радиално към първата режеща част (Δr намалява до 0), при което средната линия на площта $A'_{1\,X\,гр}$ се измества до съвпадане със средната линия на площта A_{20} (фиг.6). Между положението на средната линия и изпреварващото я положение на главния режещ ръб се заключва зоната, в която двете режещи части делят помежду си сечението с размер f .

При разместване $0 \leq X_0 \leq X_{гр}$ (фиг.7) контурът на сечението на първата режеща част е означен с A_{1x}. Огледалният образ на този контур при втората режеща част е означен с A'_{1x} . Между неговата средна линия главния режещ ръб от, включен в очертанията на площта на срязвания слой A_2 се намира площта, в която сеченията на срязваните от двете части слоеве си взаимодействат, а размерът й в осово направление е подаването f_2.

Всички споменати контури имат в осово направление размер f с изключение на A_2, който съдържа и участък с размер f_2.

Съгласно условието за пропорционалност между площта на сечението на срязвания слой и силите на рязане, за всяко разместване X_0 в интервала $0 - X_{гр}$ върхът на втората режеща част лежи върху правата линия (а), минаваща през двете му крайни положения – точките О и М.



Фиг.7. Сечение на срязваните слоеве при ПДБ с осово разместване 0 < X_0 < Хгр на режещите пластини, работещи при K_r < 90°

Уравнението на тази линия в посочената координатна система има вида:

$$\Delta r_i = -\frac{\Delta r}{X_{гр}} \cdot X_0 \qquad (12)$$

Граничното разместване може да се определи чрез зависимостта

$$X_{гр} = \frac{f}{2} + l\,, \qquad (13)$$

където, от правоъгълния триъгълник MNP,

$$l = \frac{2\Delta r}{tg\kappa_r}. \qquad (14)$$

В резултат от последователно заместване на (9) в (15) и (14)

$$X_{гр} = \frac{f}{2} + \frac{d_з - L_н}{3.tg\kappa_r}. \qquad (15)$$

След заместване на (9) и (15) в (12) се получава:

$$\Delta r_i = \frac{X_0.(d_з - L_н)tg\kappa_r}{3.f.tg\kappa_r + 2.(d_з - L_н)}, \qquad (16)$$

като формулата се отнася за абсолютната стойност на Δr_i, т.е. знакът минус от формула 12 няма физически смисъл, а е резултат от приетата координатна система.

Заместването на (16) в (2) и (5) дава възможност да се определят диаметъра на обработената повърхнина и съответните дълбочини на рязане чрез зависимостите:

$$d_i = L_н - \frac{X_0.(d_з - L_н)tg\kappa_r}{1{,}5.f.tg\kappa_r + d_з - L_н}, \qquad (17)$$

$$a_{p_{1,2}} = \frac{d_з - L_н}{2}\left(1 \mp \frac{X_0.tg\kappa_r}{1{,}5.f.tg\kappa_r + d_з - L_н}\right) \qquad (18)$$

В този случай двете режещи части формират сеченията на срязваните от тях слоеве чрез три различни размери – f_1, f_2 и f. При това определянето на f_1 и f_2 може да стане чрез изравняване площите на сеченията на двете режещи части (защрихованите участъци на фиг.7), при което

$$f_{1,2} = \frac{f}{2} \pm \frac{f.X_0}{1{,}5.f - X_0 + \frac{d_3 - L_u}{tg\kappa_r}} \qquad (19)$$

Съгласно получените теоретични зависимости може да се изрази графично връзката между осовото разместване и радиалното преместване на режещите пластини при конкретни режими на рязане.

ИЗВОДИ

Получените зависимости дават възможност да се направят следните изводи:

1. При подвижен двуножов блок, независимо от колебанието на прибавката, съществува стремеж към динамично равновесие между радиалните сили на рязане, предизвикващ самоустановяване на блока в равнината на размерообразуването и изключващ влиянието на голяма част от елементите на технологичната система върху точността на диаметралните размери.

2. Разместването в осово направление на срещуположно разположени пластини води до такова равновесно състояние на ПДБ, при което той е преместен в радиално направление спрямо оста на въртене на заготовката и в резултат от това диаметърът на вала добива стойност, по-малка от размера на статичното настройване, а дълбочините на рязане се повлияват благоприятно.

3. Съществува диапазон от стойности на осово разместване след нулевата, в който, при подвижен блок, сеченията на срязваните от двете пластини слоеве се застъпват, влияейки си взаимно, при което снемат прибавката с различни дълбочини на рязане. При определена гранична стойност на разместването и след нея двете пластини работят с еднакви сечения на срязвания слой и дълбочини на рязане, а радиалното преместване на блока добива постоянна максимална големина, равна на една шеста от прибавката.

4. Изведената аналитична зависимост, свързваща диаметъра на вала с големината на прибавката, осовото разместване и подаването създава възможност за определяне размера на статичното настройване на подвижния двуножов блок и за прогнозиране на точността на обработването в зависимост от разсейването на диаметъра на заготовката.

5. Намаляването на диаметралния размер на вала при обстъргване чрез ПДБ с осово разместени режещи пластини създава възможност за отвеждане на инструмента от обработения вал на бърз ход, без нараняване на повърхнината му.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Георгиева Н.А. Обработване на хидравлични цилиндри чрез комбинирани инструменти. Дисертация, София, юни, 2009

[2] Костадинов В.С. Изследване влиянието на осовото разместване на ножовете при комбинирано обработване чрез плаващ режещ блок. Научни трудове на ВТУ „Ангел Кънчев"-Русе, Т. XXXII, 1989.

[3] Костадинов В.С. Комбинирано обработване чрез струговане и повърхностно пластично деформиране. Автореферат на дисертация (дтн), София, 2005

[4] Кършаков М.К. Теоретико-експериментално разработване основите на комбинираното обработване на дълбоки отвори чрез рязане и ППД, Хабилитационен труд, Русе, 2009.

За контакти:

Доц. дтн Веселин Григоров, Катедра "ТММРМ", Русенски университет "Ангел Кънчев", тел.: 082-888 508, e-mail: vgrigorov@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран