

Относно определяне силовите характеристики на процеса валцоване на ротационни повърхнини с тангенциално подаване на заготовката

Инж. Ал.Иванов

On determining the force features of the process of rotational - shaped surface rolling: In this paper the dependence equations for determining the force features of the process of rotational - shaped surface rolling are presented. These are developed on the basis of similar equations used for determining the deformation force when a flat and splayed swage is inserted or when lengthways rolling is performed. It has been determined that the radial rolling forces defined through the three methods mentioned do not differ and depend mostly on the value of radial penetration of the rolling instruments.

Key words: rolling, shaped surface, force features.

ВЪВЕДЕНИЕ

За аналитичното определяне на големините на напреженията в контактната област между обработваната заготовка и валцовашите инструменти във всеки един момент на процеса валцоване на ротационни профилни повърхнини с тангенциално подаване както и за определянето на радиалното натоварване на инструментите в специализираната литература не са срещани зависимости. Анализът на публикуваните аналитични методи за определяне на големините на напреженията при внедряване на плосък и скосен поансон [2, 4], както и при надлъжно валцоване на заготовки [3] дават основание да се приеме, че те биха могли да се използват и за определяне на тези напрежения и натоварвания при този метод на валцоване на профилни повърхнини.

ОПРЕДЕЛЯНЕ ГОЛЕМИНАТА НА СИЛИТЕ НА ВАЛЦОВАНЕ

ОПРЕДЕЛЯНЕ ГОЛЕМИНАТА НА СИЛИТЕ НА ВАЛЦОВАНЕ ПРЕДСТАВЯЙКИ ИНСТРУМЕНТА КАТО ПЛОСЪК ПОАНСОН [2].

В специализираната литература са предложени три различни по своята същност аналитични метода за определяне силите на валцоване.

Ако процесът на валцоване се разглежда при следните предпоставки [2]

- приема се че обработваемият материал е еднороден
- пренебрегват се възникващите в инструмента и материала на заготовката еластични деформации
- пренебрегва се възникващата деформационна вълна
- приема се че деформираното състояние в зоната на контакт е равнинно, а изтичането на обработвания материал е само в радиално направление.

Тази предпоставка позволява внедряването на всяка навивка от инструмента да се разглежда като внедряване на трапецовиден плосък поансон (фиг.1)[2].

Зависимостите са приведени за участък от профила на изделието с дължина една стъпка P [2]. При формообразуване по отворен контур деформиращата сила P_{si} действаща на участък с дължина една стъпка P (фиг.2) във всеки момент от процеса може да се определи по зависимостта

$$P_{si} = F_{1i1} \cdot \sin \alpha_1 + F_{1i2} \cdot \sin \alpha_2 + F_{2i1} \cdot \sin \alpha_1 + F_{2i2} \cdot \sin \alpha_2 + F_{3i1} \cdot \cos \alpha_1 + F_{3i1} \cdot \cos \alpha_1 + F_{4i1} + F_{4i2}, (1)$$

където

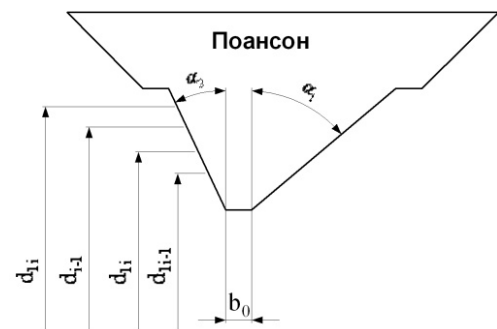
$$F_{1i1,2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_i \left(1 - \frac{\Psi_y - 1}{f_{\max 1,2}} \right) \frac{h_i}{\cos(\alpha_{1,2})} \cdot a_i ;$$

$$F_{2i1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sigma_i}{\alpha_{1,2}} \left[b_i \cdot \ln \left(\frac{b_{i1,2}}{b_{3\ 1,2}} \right) - (b_{i1,2} - b_{3\ 1,2}) \right] \cdot a_i ;$$

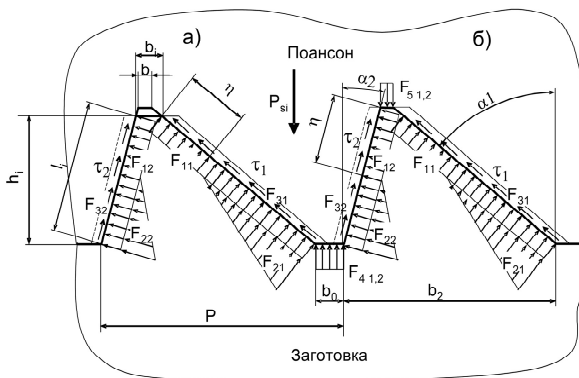
$$F_{3i1,2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_i \cdot \frac{h_i}{\cos(\alpha_{1,2})} \cdot \frac{f}{f_{\max 1,2}} \cdot a_i ;$$

$$F_{4i1} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_i \cdot b_{01} \cdot \left[1 + \pi - \alpha_1 + \frac{1}{4\alpha_1} \ln \left(\frac{P - b_0}{b_{3\ 1}} \right) + \left(\frac{\Psi_{xi} - 1 + 0,5\pi}{f_{\max 1}} \right) \cdot f \right] \cdot a_i ;$$

$$F_{4i2} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_i \cdot (b_0 - b_{01}) \cdot \left[1 + \pi - \alpha_2 + \frac{1}{4\alpha_2} \ln \left(\frac{P - b_0}{b_{3\ 2}} \right) + \left(\frac{\Psi_{xi} - 1 + 0,5\pi}{f_{\max 2}} \right) \cdot f \right] \cdot a_i ;$$



фиг.1. Текущи диаметри при внедряване на плосък поансон



фиг.2. Напрежения при внедряване на плосък поансон

$F_{1i1,2}$ - Постоянна съставляваща на нормалното натоварване възникваща в страничните контактни участъци (фиг.2) с ъгли съответно α_1 и α_2 ;

$F_{2i1,2}$ - Постоянна съставляваща на нормалното натоварване възникваща в страничните контактни участъци (фиг.2) с ъгли съответно α_1 и α_2 ;

$F_{3i1,2}$ - Тангенциална сила действаща в страничните контактни участъци (фиг.1) с ъгли съответно α_1 и α_2 ;

F_{4i1} ; F_{4i2} - Нормални сили възникващи в контактния участък (фиг.2) b_0 при валцоване по отворен контур с ъгли съответно α_1 и α_2 ;

$$h_i = \left(\frac{d_i - d_{1i}}{2} \right) - \text{Текуща височина на}$$

валцования профил;

$\Delta r_i = (d_z - d_{1i}) / 2$ - Радиално внедряване на инструментите;

$$f_{1,2\max} = \frac{1}{2\phi_{1,2}} - \text{Максимален}$$

коэффициент на триене по контактуващите повърхнини;

$$\phi_{1,2} = \frac{\pi}{2} + \alpha_{1,2} - \text{Височина зависи от условието за пластично равновесие;}$$

f - коэффициент на триене по контактуващите повърхнини.

Истинските напрежения от деформацията при валцоването в ненагрято състояние се приема да бъдат определени по зависимостта [2]

$$\sigma_i = \frac{R_m}{1 - \psi_y} \cdot \left(\frac{\Psi_{xi}}{\Psi_y} \right)^{\frac{1}{1 - \psi_y}},$$

където

$$\psi_{xi} = \frac{(d_i - d_{1i} - d_{i-1} + d_{1i-1})(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)}{2b_0 + (d_i - d_{1i})(\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2)} \quad \text{Степен на деформация във всеки един}$$

момент от внедряването на поансон (фиг.1) с несиметричен профил ($\alpha_1 \neq \alpha_2$);

$\psi_y = 0,2 - 0,05$ - Относително свиване на напречното сечение в момента на образуване на шийка при изпитване на образец на разрушаване при опън.

Стойностите на параметрите се определят по зависимостите

$$b_{1,2} = P - \left(\frac{d - d_1}{2} \right) \text{tg}(\alpha_{1,2}) - h_i \cdot \text{tg}(\alpha_{2,1});$$

$$b_{3,1,2} = \left[1 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \cdot \sin(\alpha_{1,2}) \right] \cdot b_0;$$

$$b_{01} = \frac{hf}{P} \text{tg} \alpha_1;$$

(4)

$$a_i = \frac{d_0 \cdot \sin \lambda_{0i}}{2} \quad \text{- дължина на дъгата на захващане[5].}$$

ОПРЕДЕЛЯНЕ ГОЛЕМИНАТА НА СИЛИТЕ НА ВАЛЦОВАНЕ ПРЕДСТАВЯЙКИ ИНСТРУМЕНТА КАТО СКОСЕН ПОАНСОН [4].

Използвайки горепредставените предпоставки и разглеждайки внедряването на всяка навивка от инструмента като внедряване на трапецовиден скосен поансон, както и отчитайки означенията на фиг.3, текущата сила на валцоване P_i би могла да се определи и чрез зависимостта [4]

$$P_i = F_{1i} + F_{2i} + F_{b0i}, \quad (5)$$

използвайки (4) за зависимостите за определяне на F_{1i} , F_{2i} и F_{b0i} , преработени в съответствие с нуждите на настоящата задача и параметрите на конкретния валцован профил (фиг.3) се достига до

$$F_{b0i} = a_i \cdot b_0 \cdot \sigma_i \cdot \left[\frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1-3 \cdot f^2} + \frac{2}{\sqrt{3}} + f \cdot \frac{2 \cdot b_0}{d_{1i}} \cdot \left(1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{b_0}{a_i} \right) \right];$$

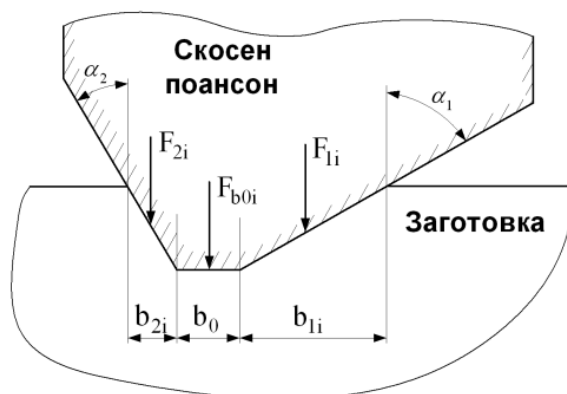
$$F_{1i} = 4 \cdot a_i \cdot b_{1i} \cdot \sin \alpha_1 \cdot \sigma_i \cdot \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} + f \cdot \left[\sin(\pi - 2 \cdot \alpha_1) + \text{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) \right] + \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1-3 \cdot f^2} \cdot \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_1 \right) + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1-3 \cdot f^2} - \frac{2 \cdot f}{\frac{\pi}{2} - \alpha_1} \right) \cdot \left[\frac{1}{m} \cdot \left(1 - \frac{a_i}{b_{1i}} \cdot \frac{d_i}{d_{1i} m} \right) \ln(1+m) + \frac{a_i}{2 \cdot b_{1i}} \cdot \left(\frac{d_i}{d_{1i} m} + \frac{1}{m} \right) - 1 \right] \right\};$$

$$F_{2i} = 4 \cdot a_i \cdot b_{2i} \cdot \sin \alpha_2 \cdot \sigma_i \cdot \left\{ \frac{2}{\sqrt{3}} + f \cdot \left[\sin(\pi - 2 \cdot \alpha_2) + \text{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_2 \right) \right] + \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1-3 \cdot f^2} \cdot \cos^2 \left(\frac{\pi}{2} - \alpha_2 \right) + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{1-3 \cdot f^2} - \frac{2 \cdot f}{\frac{\pi}{2} - \alpha_2} \right) \cdot \left[\frac{1}{m} \cdot \left(1 - \frac{a_i}{b_{2i}} \cdot \frac{d_i}{d_{1i} m} \right) \ln(1+m) + \frac{a_i}{2 \cdot b_{2i}} \cdot \left(\frac{d_i}{d_{1i} m} + \frac{1}{m} \right) - 1 \right] \right\};$$

(6)



фиг.3. Напряжения при внедряване на скосен поансон

$$m = \frac{d_i - d_{1i}}{d_{1i}};$$

$$\ln(1 + m) = \ln\left(\frac{d_i}{d_{1i}}\right);$$

където

F_{1i} - Сила действаща в страничните контактни участъци (фиг.3) с ъгъл съответно α_1 ;

F_{2i} - Сила действаща в страничните контактни участъци (фиг.3) с ъгъл съответно α_2 ;

$F_{b_{oi}}$ - Нормални сили възникващи при валцоване в контактния участък b_0 (фиг.3).

Стойностите на параметрите се определят по зависимостите

$$b_{1i} = h \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 - b_{01};$$

$$b_{2i} = h \cdot \operatorname{tg} \alpha_2 - (b_0 - b_{01});$$

$$h = \frac{d - d_1}{2} - \text{височина на профила на готовото изделие.}$$

ОПРЕДЕЛЯНЕ ГОЛЕМИНАТА НА СИЛИТЕ НА ВАЛЦОВАНЕ ИЗПОЛЗВАЙКИ МЕТОДИКАТА ЗА НАДЛЪЖНО ВАЛЦОВАНЕ [3].

Определяне на текущите сили на валцоване при обработване на ротационни повърхнини може да бъде извършено използвайки зависимостите за определяне на силовото натоварване при надлъжното валцоване [3], представяйки валцоването на профила [1] като надлъжно (фиг.4).

За използването на този математичен модел е нужно да се приеме и предпоставката че липсват допълнителни напрежения на опън преди и след деформационното пространство [3] - "предно и задно опъване".

Използвайки този метод [3] деформиращата сила P_{ki} действаща на участък с дължина една стъпка P (фиг.4) във всеки момент от процеса може да се определи по зависимостта

$$P_{ki} = F_{1i} + F_{2i} + F_{b_{01}},$$

където използвайки (2 и 7) и съгласно означенията на фиг.4 се достига до уравненията

$$F_{b_{oi}} = p_{xi} \cdot a_i \cdot b_0;$$

$$F_{1i} = p_{xi} \cdot a_i \cdot b_{1i};$$

$$F_{2i} = p_{xi} \cdot a_i \cdot b_{2i};$$

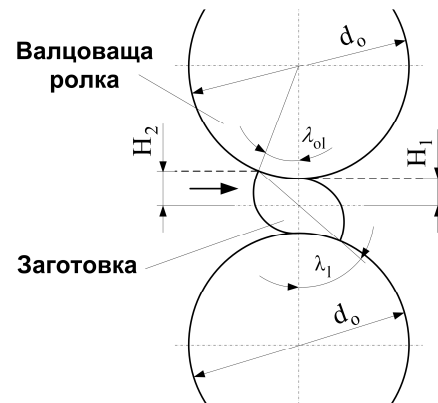
$$p_{xi} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_i \cdot \frac{1}{\delta} \left[(\delta - 1) \left(\frac{H1}{hx} \right)^\delta + 1 \right];$$

$F_{b_{oi}}$ - Нормални сили възникващи при валцоване в контактния участък b_0 (фиг.4);

F_{1i} - Сила действаща в страничните контактни участъци (фиг.4) с ъгъл съответно α_1 ;

F_{2i} - Сила действаща в страничните контактни участъци (фиг.3) с ъгъл съответно α_2 ;

p_{xi} - Разпределено налягане по контактната повърхност за зоната на изоставане [3].



фиг.4. Схема на параметрите на зоната на валцоване

Стойностите на параметрите се определят по зависимостите

$h_x = l_1 \delta$ - променлива величина, характеризираща критичното сечение за зоната на избързване и зоната на забавяне;

$$l_1 = \frac{4 + \sqrt{4 + 4 \cdot (\delta + 1) \cdot \frac{1}{H_2^\delta} \cdot (\delta - 1) \cdot H_1^\delta}}{2 \cdot \frac{(\delta + 1)}{H_2^\delta}};$$

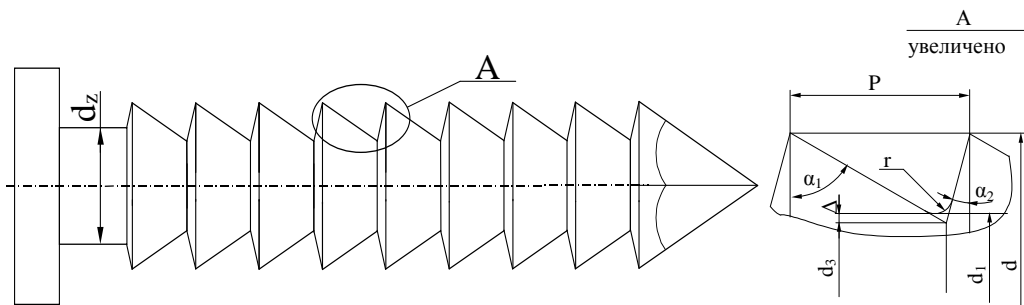
$$\delta = \frac{f}{\operatorname{tg} \frac{\lambda_{0i}}{2}}; H_1 = \frac{d_i}{2} \cdot \cos \lambda_i; H_2 = \frac{d_{li}}{2}; \lambda_i = \arcsin \left(\frac{2 \cdot a_i}{d_i} \right); \quad (10)$$

$$\lambda_{0i} = \arcsin \left(\frac{2 \cdot a_i}{d_0} \right) - \text{ъгъл на дъгата на захващане (фиг.4);}$$

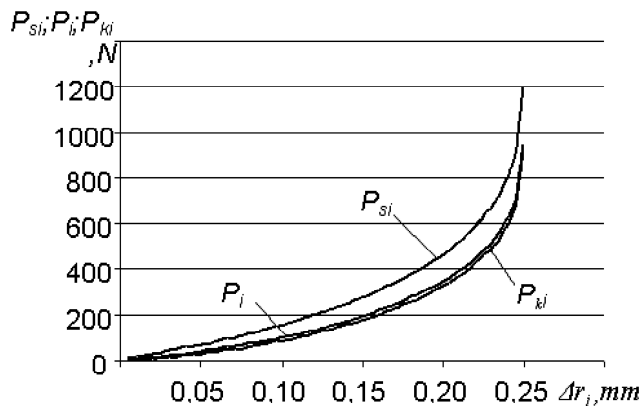
За избързване изчисления по трите гореразгледани математически модела, по които може да се определи в каква степен те се различават един от друг, е необходимо до се работи с едни и същи изходни данни (табл.1) за големината на обработвания осов профил (фиг.5).

Табл.1. Параметри на осовият профил

d, mm	P, mm	d ₁ , mm	α ₁	α ₂	r, mm
4,2	1,27	3,18813	65°	15°	0,05



Фиг. 5. Общ вид и осов профил на ротационната профилна повърхнина [1]



фиг.6. Изменение силовото натоварване при валцоване в зависимост от внедряването Δr_i на инструментите при $d_0=100$ mm.

Табл.2. Големина на силовото натоварване в зависимост от радиалното внедряване Δr_i

$\Delta r_i, \text{ mm}$	$P_{si}, \text{ N}$	$P_i, \text{ N}$	$P_{ki}, \text{ N}$
0,05093	70,49	39,36	29,01
0,10185	155,97	101,87	87,844
0,15278	279,70	197,88	180,43
0,2037	480,02	358,28	336,40
0,24954	1188,34	935,20	900,09

Изчислителните (Табл.2) резултати получени с помощта на интерактивната среда за изчисление на инженерни и научни разчети на системата MATLAB, и специално разработен алгоритъм в програмната среда на електронните таблици Excel за текущите стойности на силите P_{si} , P_i и P_{ki} определени по зависимости (1, 5 и 8), са представени в графичен вид в зависимост от Δr_i радиалното внедряване на инструментите (фиг.6) за $d_0=100\text{mm}$.

Изчислителните резултати за крайните стойности на силите P_{si} , P_i и P_{ki} определени по зависимости (1, 5 и 8), при различен диаметър на водещата валцоваща ролка d_0 , при едни и същи изходни данни за големината на обработвания осов профил (табл.1), са представени в табл.3.

Табл.3.Изменение силовото натоварване при валцоване в зависимост отдиаметъра d_0 , на водещата валцоваща ролка

d_0 , mm	Плосък поансон, N	Скосен поансон, N	Надлъжно валцоване, N
100	1188	935	900
200	1198	943	908
500	1203	949	913
1000	1205	950	914

ИЗВОДИ

Проведеният анализ на база на изведените зависимости за изменението на натоварването при валцоване P_{si} , P_i и P_{ki} на заготовката и извършените изчисления позволява да се направят следните изводи:

- Изменението и големината на силовите характеристики при валцоване не зависи съществено от диаметъра на валцоващите ролки d_0 (табл.3);
- Внедряването Δr_i на инструментите в заготовката оказва силно влияние върху изменението и големината на силовите характеристики при валцоване (фиг.6);
- За предварително теоретично определяне на максималното силово натоварване при валцоване може да се използва всеки от трите методи, тъй като максималната разлика за натоварването, определено чрез тях, не превишава 25%.
- Изборът на най-подходящ метод може да бъде определен само чрез сравняване на резултатите с такива, получени от експериментални изследвания.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Иванов, Ал.Иванов. *Валцоване на ротационни профилни повърхнини с тангенциално подаване на заготовките*. Сборник доклади на международна научна конференция УНИТЕХ, Габрово 2001.
2. В.Иванов. *Резбовалцоващи инструменти – теория, конструиране, експлоатация*. Русе,2000.
3. Й.Кючуков. *Обработване на металите чрез пластична деформация*. София. Техника. 1971.
4. Г. Смирнов-Аляев. *Спротивление материалов пластическому деформированию*. Ленинград, Машиностроение, 1978.
5. Ц.Цанков. *Теория на пластичността*. София. Техника. 1969.

За контакти:

Инж. Александър Кирилов Иванов. Катедра "Технология на машиностроенето и металорежещи машини", Русенски университет "Ангел Кънчев", Тел.: 082 888 714, E-mail: akivanov@uni-ruse.bg .