

УДК 821.7

І.Гевко, канд. техн. наук

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

ВИЗНАЧЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРМЕТРІВ ГВИНТОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ВИГОТОВЛЕНИХ З КРУГЛИХ ПРОФІЛІВ

Подано методику визначення конструктивних параметрів гвинтових елементів прямокутного і трапецієподібного профілів, виготовлених з круглого профілю. Розглянуто умови захоплення заготовки і виведено аналітичні залежності для визначення конструктивних і технологічних параметрів гвинтових елементів з вищевказаних профілів.

Умовні позначення

- α_y - кут охоплення стрічки валком;
- μ_3 - коефіцієнт тертя у зоні захоплення;
- γ - кут конусності валків;
- l_y - довжина джерела деформації;
- R_{0y} - радіус поперечного перерізу;
- Δh_y - величина обтискування стрічки;
- $Z_{(y)max}, Z_{(y)min}$ - функції твірних відповідно заготовки та конуса на площині zOy ;
- \tilde{y}_1, \tilde{y}_2 - граничні значення області визначення функції $\Delta z_{(y)}$;
- a - відстань центра заготовки від початку вибраної системи координат;
- L - довжина валка;
- S - довжина умовного конуса;
- H, h - товщини відповідно зовнішнього та внутрішнього контурів спіралі;
- H_1 - товщина заготовки;
- λ_n - відносне витягування металу на внутрішньому контурі;
- D_{max} - діаметр заготовки;
- F_1, F_2, F_3 - площі функції на відповідних інтервалах;
- B_1 - узагальнена ширина прокатої спіралі;
- B_{01} - ширина прокатої стрічки трапецієподібного поперечного перерізу, не скрученої в спіраль;
- B^1 - ширина прокатої стрічки прямокутного поперечного перерізу, не скрученої в спіраль.

Основними робочими і завантажувально-розвантажувальними органами багатьох машин і механізмів є гвинтові механізми. Їх питома вага тільки як транспортних пристроїв становить у народногосподарському комплексі держави в середньому 40...45%.

Тому питання визначення конструктивних параметрів гвинтових стрічкових елементів, одержаних з прокату круглого профілю, має важливе народногосподарське значення.

Розглянемо питання формоутворення і виведення аналітичних залежностей для визначення параметрів гвинтових стрічок залежно від конструктивних і технологічних параметрів круглих заготовок.

При розрахунках приймемо такі основні допущення:

- два валки однакового діаметру;
- валки обертаються з однаковою частотою і мають однаковий стан поверхні, а отже, однаковий коефіцієнт контактного тертя;

- пружна деформація валків не враховується;
- деформована стрічка має постійні розміри поперечного перерізу на всій довжині;
- хімічна структура, однорідність, температура металу, стан поверхні, технологічне змащування (якщо воно застосовується) та інші умови вважаємо постійними;
- розподіл діючих сил на всій поверхні контакту валків з металом рівномірний.

Розглянемо умови захоплення стрічки у двох режимах роботи – захоплення і встановлення стабільного процесу формоутворення (рис.1.).

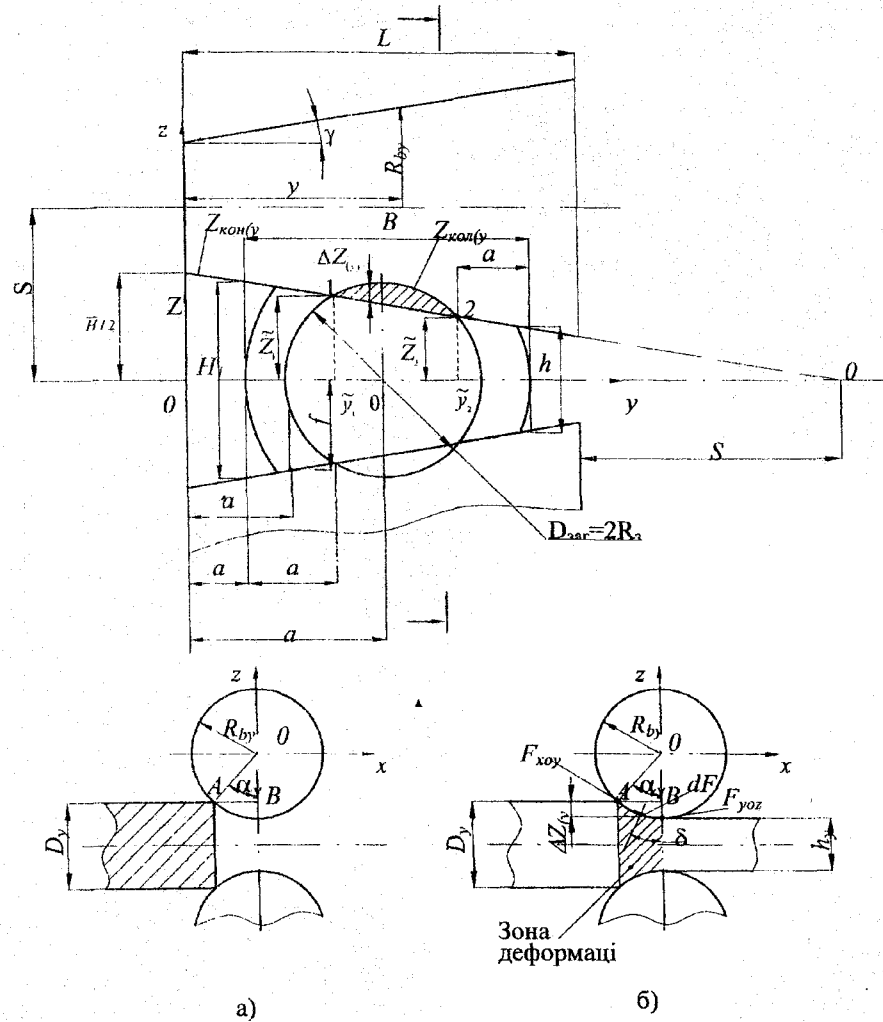


Рис. 1. Розрахункова схема прокатування гвинтових стрічок із смуги круглого поперечного перерізу.

Згідно з [1] умова захоплення валками стрічки виглядає так:

$$v < \mu_3$$

$$v = \operatorname{tg} \alpha_y \cos \gamma, \quad (1)$$

де α - кут охоплення стрічки валком;
 μ_3 - коефіцієнт тертя у зоні охоплення;
 γ - кут конусності валків.
 Із ΔAOB рис. 1

$$\operatorname{tg} \alpha_y = l_y / (R_{by} - \Delta h_y / 2), \quad (2)$$

де l_y - геометрична довжина зони деформації;
 R_{by} - радіус поперечного перерізу;
 Δh_y - величина обтиску стрічки. Геометрична довжина зони деформації, згідно з [2] визначається залежністю:

$$l_y = \sqrt{R_{by} \Delta h_y} \quad (3)$$

Величину обтиску в будь-якому перерізі визначимо за формулою:

$$\Delta h_y = 2\Delta z_{(y)} = 2[z_{(y)заг} - z_{(y)кон}] \quad \text{при } y \in [\tilde{y}_1; \tilde{y}_2], \quad (4)$$

де $z_{(y)заг}$, $z_{(y)кон}$ - геометричні функції твірних відповідно заготовки та конуса валка у площині ZOY:

$$\begin{aligned} z_{(y)заг} &: (y-a)^2 + z^2 = R_3^2 \\ z_{(y)кон} &: z = y \operatorname{tg} \gamma + 0,5\bar{H}, \end{aligned} \quad (5)$$

де \tilde{y}_1, \tilde{y}_2 - граничні значення області визначення функції $\Delta z_{(y)}$;

a - відстань центру заготовки від початку вибраної системи координат.

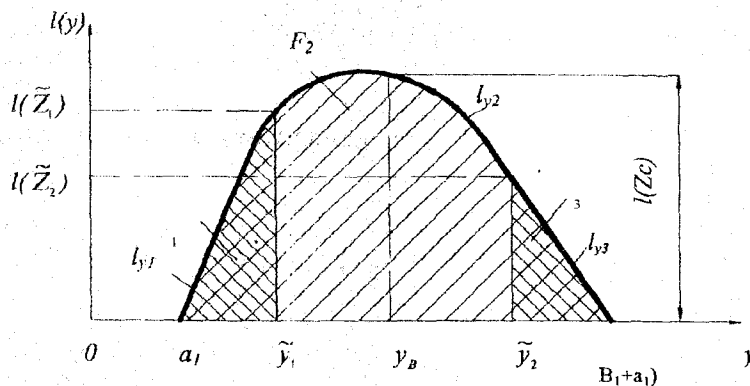


Рис. 2. Графічні залежності геометричної довжини деформації від координати y .

Відстань a визначимо із системи рівнянь:

$$\begin{aligned} \frac{H_1/2 - f}{a_4 - a_1} &= \frac{\bar{H}/2 - f}{a_4} \\ f &= (L + S - a_4) \operatorname{tg} \gamma \\ a_1 &= \frac{(H_1 - \bar{H})}{2 \operatorname{tg} \gamma} \\ a &= R_3 + a_4, \end{aligned}$$

де: L - довжина валка;
 S - довжина умовного конуса (рис.1):

$$S = \frac{\bar{H}(L - a_1) - H_1 L}{H_1 - \bar{H}}$$

Розв'язавши систему рівнянь відносно a_4 і a , отримаємо:

$$a_4 = \frac{tg\gamma(L + S) - \bar{H}/2}{\frac{1}{2a_1}(H_1 - \bar{H}) + tg\gamma}$$

$$a = R_3 + a_4$$

Згідно з (5)

$$\tilde{y}_{1/2} = -\frac{A_2}{2A_1} \pm \sqrt{\frac{A_2^2}{4A_1^2} - \frac{A_3}{A_1}}, \quad (6)$$

де $A_1 = 1 + tg^2\gamma$; $A_2 = \bar{H}tg\gamma - 2a$; $A_3 = a^2 + 1/4\bar{H}^2 - R_3^2$

Відповідно до (6) значення функцій твірних у точках $y_{1/2}$ та функції $\Delta z_{(y)}$ дорівнюють:

$$\tilde{z}_{1/2} = \tilde{y}_{1/2}tg\gamma + 0,5\bar{H} = \sqrt{R_3^2 - (\tilde{y}_{1/2} - a)^2}$$

$$\Delta z_{(y)} = \sqrt{R_3^2 - (y - a)^2} - ytg\gamma - 0,5\bar{H} \quad (7)$$

Радіус поперечного перерізу валка дорівнює:

$$R_{by} = z_{(y)кон} = S - 0,5\bar{H} - ytg\gamma \quad (8)$$

Підставивши вираз (7) в (4), та (8), (4) в (3), отримаємо:

$$l_{y_2} = l_y = [2(S - ytg\gamma - 0,5\bar{H})((R_3^2 - (y - a)^2)^{1/2} - ytg\gamma - 0,5\bar{H})]^{1/2} \quad (9)$$

Функція l_y визначає теоретичну область контакту валка із стрічкою ($y \in [\tilde{y}_1; \tilde{y}_2]$).

Однак в реальних умовах дійсна область контакту більша за задане значення, оскільки наявні процеси пластичного перерозподілу матеріалу. У цьому плані важливо знати значення функції l_y в інтервалах $y \in [a_1; \tilde{y}_1]$, $[\tilde{y}_2; (B_1 + a_1)]$ та значення залежності радіуса закручування стрічки від режимів обтиску.

Останню залежність визначимо з умови рівності обсягів ділянки стрічки до і після прокатування [3]. На основі припущення запишемо систему рівнянь, що визначає залежність радіуса r закручування стрічки від режимів обтиску:

$$\pi D^2 dl_0 = 4 \left[\int_0^{B_1} (r + y)f(y)dy \right] d\varphi$$

$$d\varphi = \left(\frac{\lambda_B}{r} \right) dl_0, \quad (10)$$

де: $d\varphi$ - елементарний кут, на який здійснюється закручування стрічки елементарною довжиною dl_0 ;

$f(y)$ - функція, що описує закон зміни товщини спіралі від H до h ;

$f(y)$ - спадна невіпукла функція $f(y) = H - 2ytg\gamma$;

H, h - товщини відповідно зовнішнього та внутрішнього контурів спіралі;

λ_B - відносне витягування металу на внутрішньому контурі: $\lambda_B = \frac{dL_1}{dl_0}$.

Розв'язавши (10), отримаємо:

$$r = \frac{\tilde{B}_1(H+2h)}{3\left(\frac{\pi D^2}{2\tilde{B}_1\lambda_B} - H - h\right)} \quad (11)$$

Ширина гвинтової спіралі при відомому радіусі закручування стрічки дорівнює:

$$\tilde{B}_1 = -\frac{C_2}{2C_1} + \left[\frac{C_2^2}{4C_1^2} + \frac{C_3}{C_1}\right]^{1/2}, \quad (12)$$

де $C_1 = H+2h$; $C_2 = 3r(H+h)$; $C_3 = \frac{3r\pi D^2}{2\lambda_B}$.

При пропусканні деформованої стрічки крізь калібр з метою запобігання її скручуванню спіраллю вираз (11) можна подати у вигляді умови:

$$\frac{\pi D^2}{2B_1\lambda_B} - H - h \Rightarrow 0, \quad r \Rightarrow \infty \quad (13)$$

Таким чином, конструктивні параметри стрічки при прокатуванні визначатимуться системою рівнянь:

$$\begin{cases} 2B_1 \operatorname{tg}\gamma - H + h = 0 \\ \left(\frac{\pi D_{заг}^2}{2B_1\lambda_B} - H - h\right) = 0 \\ B = \frac{B_{01}}{B_0} \end{cases} \quad (14)$$

де: $D_{заг}$ - діаметр заготовки.

Значення коефіцієнтів витягування λ_B та розширення β визначимо, використовуючи емпіричні залежності [4]:

$$\begin{aligned} \lambda &= 0,812 + 0,298m_1 - 0,226m_2 - 1,091m_3 - 0,133m_1m_2 + 0,588m_1m_3 + 2,19m_2m_3 \\ \beta &= -0,240 + 1,23m_1 + 0,745m_2 + 1,40m_3 - 0,798m_1m_2 - 1,76m_1m_3 + 1,88m_2m_3 \end{aligned} \quad (15)$$

де $m_1 = D_{заг}/P_1$, $m_2 = \operatorname{tg}\mu$, $m_3 = D_{заг}/R_b$

R_b - середній радіус валка.

Похибки даних залежностей становлять 1,3%.

Розв'язавши систему рівнянь відносно B_{01} , отримаємо:

$$B_{01} = \frac{1}{2\operatorname{tg}\gamma} \left[H - \sqrt{H^2 - \frac{\pi D^2}{\lambda_B} \operatorname{tg}\gamma} \right] \quad (16)$$

При $H=h=H_C$ вираз (16) виглядає так:

$$B_{01} = \frac{\pi D_{заг}^2}{4H_C \lambda_B}, \quad (17)$$

де $\bar{\lambda}_B$ - коефіцієнт витягу стрічки при $H = h$.

Графічні залежності ширини стрічки B_1 від діаметра заготовки D для трапецієподібного ($\gamma = 6,66 \cdot 10^{-3}$ рад. $= 0,38^\circ$) і прямокутного профілів спіралі при $R_b = 175$ мм. подано на рисунках 3 і 4 відповідно.

Стрічки прямокутного і трапецієподібного перерізів можна виконати при одержанні гвинтових спіралей шляхом навівання їх на оправку.

Значення інших геометричних параметрів стрічки, що характеризують процес її формоутворення, визначимо з рівнянь (рис. 1):

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{H_1 - \bar{H}}{2tg\gamma} \\ a_2 &= \tilde{y}_1 - \frac{H_1 - \bar{H}}{2tg\gamma} \\ a_3 &= a_1 + B_1 - \tilde{y}_2 \\ a &= \tilde{y}_1 + \sqrt{R_{заз}^2 - \tilde{z}_1^2} \\ h &= H_1 - 2B_1tg\gamma \end{aligned} \quad (18)$$

Враховуючи параметри $a_1, B_1, \tilde{y}_1, \tilde{z}_1$, функції, що описують геометричну величину деформації стрічки на інтервалах $[a_1; \tilde{y}_1]$, та $[\tilde{y}_2; (B_1 + a_1)]$ (рис.2), відповідно виглядає так:

$$l_{x_1} = \sqrt{\frac{2\tilde{z}_1(y-a)(S-ytg\gamma-0,5\bar{H})}{\tilde{y}_1-a_1}} \quad (19)$$

$$l_{y_2} = \sqrt{\frac{2\tilde{z}_2(a_1+B_1-y)(S-tg\gamma-0,5\bar{H})}{B_1+a_1-\tilde{y}_2}} \quad (20)$$

Підставивши рівняння (9), (8), (4), в (2), а (2) в (1), отримаємо вираз, що описує умову захоплення стрічки валками:

$$v = \frac{\sqrt{[S-ytg\gamma-0,5\bar{H}][\sqrt{R_3^2-(y-a)^2-ytg\gamma-0,5\bar{H}}] \cos \gamma}}{S-\bar{H}-\sqrt{R_3^2-(y-a)^2}} \quad (21)$$

або

$$v = \frac{\sqrt{R_{by}(z_{(y)заз} + R_{by} - S) \cos \alpha}}{S-\bar{H}-z_{(y)заз}} < \mu_3 \quad (22)$$

Дослідження функції $v=v(y)$ на екстремум у заданому інтервалі, дозволяє визначити оптимальні умови захоплення стрічки валками, що, в свою чергу, дозволяє зменшити радіуси валків та інтенсифікувати процес захоплення стрічки валками на початковому етапі прокатування.

Розглянемо випадок прокатування при встановленому режимі роботи. Згідно з [2] при $p=const$ умова захоплення виглядає так:

$$\iint_F \sin \delta \cos \delta dF < \mu_y \iint_F \cos \delta d \quad (23)$$

або

$$F_{yoz} < \mu_y F_{xoy},$$

де F_{yoz} і F_{xoy} - проекції площі континенту валка із стрічкою відповідно на площину виходу металу із валків і на площину прокатування.

Припустивши, що проєкції функцій l_{y1} і l_{y2} на площину YOZ дорівнюють нулеві, отримуємо площу F_{yoz} , яка дорівнює :

$$F_{xoy} = \int_{\tilde{y}_1}^{\tilde{y}_2} (z_{(y)max} - z_{(y)min}) dy = \int_{\tilde{y}_1}^{\tilde{y}_2} (\sqrt{R_3^2 - (y-a)^2} - (0,5H - y \operatorname{tg} \gamma)) dy = \quad (24)$$

$$= \frac{1}{R_3} \left[\arcsin \frac{\tilde{y}_2 - a}{R_3} - \arcsin \frac{\tilde{y}_1 - a}{R_3} \right] - 0,5H(\tilde{y}_2 - \tilde{y}_1) - 0,5 \operatorname{tg} \gamma (\tilde{y}_1 - \tilde{y}_2)$$

Значення площі F_{xoy} визначимо за формулою:

$$F_{xoy} = \int_{a_1}^{a_1+B_1} l_{y\Sigma} dy = F_1 + F_2 + F_3 \quad (25)$$

де $l_{y\Sigma}$ = функція, що описує проєкцію у точці контакту валків із заготовкою на точку виходу металу з валків:

$$l_{y\Sigma} = \sum_{s=1}^3 l_{ys} \prod_{j=1}^s [1 + \operatorname{sgn}(l_{y1} - l_{yj})] \quad (26)$$

де F_1, F_2, F_3 -площі функції на відповідних інтервалах (рис. 2).

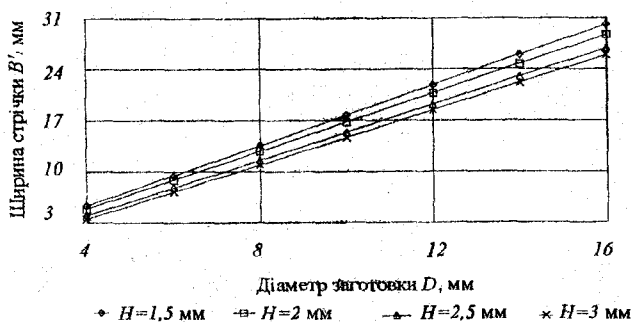


Рис.3. Залежність ширини стрічки від діаметра прокатуваного прутка для прямокутного профілю.

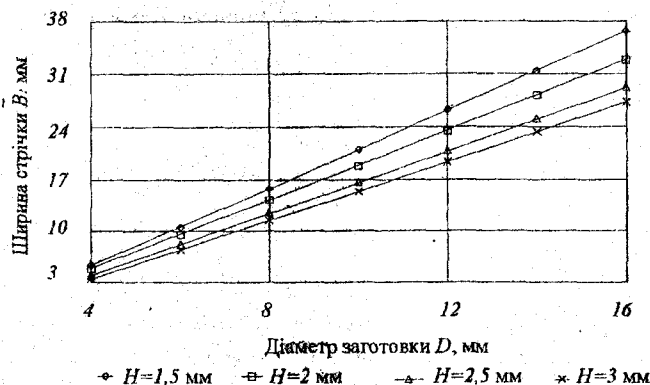


Рис.4. Залежність ширини стрічки від діаметра прокатуваного прутка для трапецієвидного профілю.

У певному наближенні вираз (25) можна подати у такому вигляді:

$$F_{xoy} = \int_{a_1}^{\tilde{y}_1} \sqrt{2\tilde{z}_1(y-a)} \sqrt{S - y \operatorname{tg} \gamma - 0,5H} dy + \int_{\tilde{y}_1}^{\tilde{y}_2} \sqrt{2(S - y \operatorname{tg} \gamma - 0,5H)} \sqrt{R_3^2 - (y-a)^2 - y \operatorname{tg} \gamma - 0,5H} dy +$$

$$+ \int_{\tilde{y}_1}^{a_1+B_1} \sqrt{\frac{2\tilde{z}_2(a_1+B_1-Y)(S-ytgy-0,5H)}{B_1+a_1-\tilde{y}_2}} dy \quad (27)$$

Розв'язувати подані залежності (27) і (24) треба з використанням ППП "MathCAD 7.0".

Умова захоплення стрічки при встановленому режимі виглядатиме так:

$$\frac{F_{yoz}}{F_{xoy}} < \mu_y \quad (28)$$

Залежності ширини стрічки прямокутного і трапецієподібного профілів, виготовлених з круглого прокату, подані на рис. 3 і 4. За допомогою цих графічних залежностей маємо можливість вибирати діаметр заготовки залежно від конструктивних параметрів гвинтової спіралі.

Подана методика розрахунку технологічних та конструктивних параметрів дозволяє проектувати гвинтові заготовки і гвинтові механізми з поліпшеними техніко-економічними параметрами.

Практичне використання поданих вище залежностей дозволяє визначити оптимальні умови захоплення стрічки круглого поперечного перерізу валками у початковому та встановленому режимах прокатування і цим значно інтенсифікувати заданий процес та отримати гвинтові заготовки з більшою відносною висотою.

The technique of determination of constructional parameters of screw elements of rectangular and trapezoidal profiles made of rolled steel is given in the article. The conditions of billet gripping were under consideration and analytical dependencies for determination of the constructional and technological parameters of screw elements of the above-mentioned profiles were derived.

Література

1. Гевко Б. М. Технология изготовления спиралей шнеков. - Львов: Вища шк., 1986. -128с.
2. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. -М.: Металлургия, 1962. -494с.
3. Суворов И. К. Обработка металлов давлением: Учебник для вузов. - М.: Высш. школа, 1980. -364с.
4. Прокатка и калибровка фасонных профилей: Справ. изд./Илюковин Б. М., Жадан В. Т., Шулаев И. П., Нехаев Н. Е. -М.: Металлургия, 1989. -312с.

Одержано 11.07.2001 р.

УДК 621.914.1

П.Мельничук, канд. техн. наук

Житомирський інженерно-технологічний інститут

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДЕФОРМАТИВНОСТІ ШПИНДЕЛЬНОГО ВУЗЛА ВЕРТИКАЛЬНО-ФРЕЗЕРУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

Подано розрахунок деформативності шпиндельного вузла вертикально-фрезерувального верстата з використанням системи моделювання SIMULINK пакета MATLAB

Шпиндельний вузол верстата є складною пружною системою з нелінійними характеристиками. Підшипники передньої та задньої опор утворюють замкнену, наперед напружену систему. Під дією статичних сил різання відбувається деформація шпинде-