

УДК 621.867

М.І. Пилипець, І.С. Генник, І.Б. Гевко

Тернопільський технічний університет ім. І. Пулюя,
кафедра технології машинобудування

ОПТИМІЗАЦІЯ ГВИНТОВИХ ЗАТИСКНИХ ПРИСТРОЇВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

© Пилипець М.І., Генник І.С., Гевко І.Б., 2002

Описано методику оптимізації гвинтових затискних механізмів технологічного устаткування, що застосована на мінімізації функції мети з використанням умов Куна – Таккера і дозволяє з достатньою точністю обчислити конструктивні параметри гвинтових затискних механізмів.

In brought article is described the strategy of optimization screw jamming mechanisms of technological equipment, which is founded on minimization of target function with use the conditions Kuna-Takker and allows with sufficient accuracy to calculate the constructive parameters screw jamming mechanisms.

Проектуючи нові конструкції механізмів та обладнання завжди існує проблема із вибором оптимальних параметрів як механізмів, загалом, так і їх окремих вузлів та деталей, враховуючи технологічні та експлуатаційні вимоги. Це стосується також і гвинтових затискних пристроїв. Важливим параметром оптимізації є матеріаломісткість виробу та його собівартість.

На жаль нині немає стійкої теорії оптимізації такого типу обладнання у зв'язку із недостатнім розвитком цього напрямку галузі машинобудування. Сучасні теорії оптимізації розглядають основну задачу в знаходженні максимуму чи мінімуму цільової функції від множини параметрів, кожен з яких характеризує окремий стан чи функціональне призначення пристрою загалом, вузлів та деталей. Однак це вимагає значно глибшого аналізу та окремого дослідження.

Мета цієї роботи полягає в знаходженні мінімуму цільової функції від матеріаломісткості гвинтового затискного пристрою або собівартості його виготовлення, що забезпечило б конкурентоспроможність пристрою.

Функціонал якості для будь-якого пристрою, оптимізуючи за матеріаломісткістю виготовлення, можна подати такою залежністю:

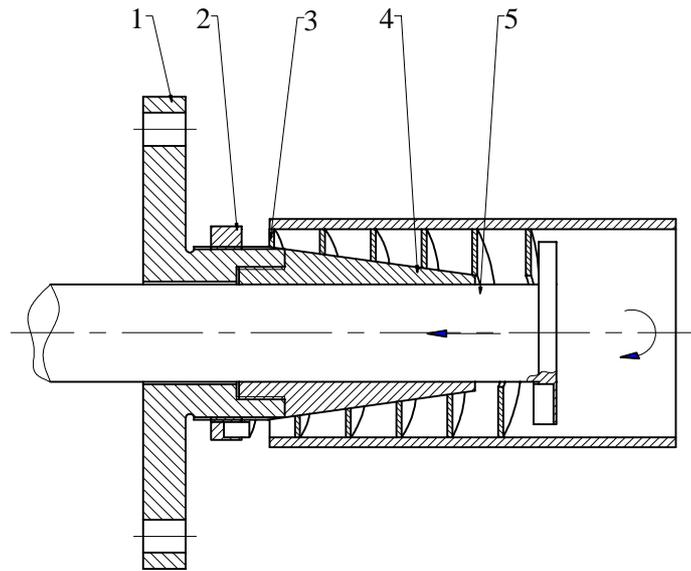
$$F = a_1V_1 + a_2V_2 + \dots + a_iV_i; \quad i = 1..n, \quad (1)$$

де $a_1...a_i$ – коефіцієнти вагомості матеріалу по масі; $V_1...V_i$ – об'єми кожної з деталей пристрою; n – кількість деталей.

У цьому випадку функцію мети для гвинтового затискного пристрою, зображеного на рисунку, можна представити залежністю

$$F = a_1V_1 + a_2V_2 + a_3V_3 + a_4V_4 + a_5V_5, \quad (2)$$

де 1, 2, 3, 4, 5 – індекси при коефіцієнтах вагомості та об'ємах відповідають позиціям, проставленим на рисунку.



Гвинтовий затискний пристрій:

*1 – планшайба; 2 – фіксуюче кільце; 3 – затискна спіраль;
4 – конічна втулка; 5 – привідний стрижень*

У зв'язку з тим, що деталі 1 і 2 не беруть безпосередньої участі в затиску доцільно вважати їхні характеристики сталими величинами і позначити $C_1 = a_1 \cdot V_1$ і $C_2 = a_2 \cdot V_2$.

Об'єми решти елементів представленого гвинтового затискного пристрою будуть:

– затискної спіралі

$$V_3 = \frac{k_1 \cdot H \cdot B \cdot n}{\beta \cdot T} \sqrt{(\pi \cdot D_0)^2 + T^2}, \quad (3)$$

де B – товщина витка затискної спіралі; H – ширина затискної спіралі; β – коефіцієнт усадки; k_1 – коефіцієнт, що враховує конічність затискної спіралі; T – крок затискної спіралі; n – кількість витків затискної спіралі; D_0 – середній діаметр затискної спіралі, який визначається за залежністю

$$D_0 = \frac{D + k_1 \cdot d \cdot \sqrt{\psi}}{\sqrt{\psi + 1}}, \quad (4)$$

де D і d – відповідно внутрішній і зовнішній діаметри затискної спіралі; ψ – коефіцієнт нерівномірності витяжки;

– конічної втулки:

$$V_4 = \frac{\pi \cdot (L - \Delta L)}{12 \cdot \cos \alpha} (D_k^2 + d \cdot D_k - 2 \cdot d^2), \quad (5)$$

де L і ΔL – відповідно загальна довжина і довжина кріпильних елементів затискної спіралі; α – кут нахилу твірної конуса конічної втулки; D_k – більший діаметр конічної втулки;

– привідного стрижня:

$$V_5 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_{cm}, \quad (6)$$

де L_{cm} – довжина привідного стрижня.

Підставивши значення складових рівняння (2), отримаємо

$$F = C_1 + C_2 + a_3 \cdot \frac{k_1 \cdot H \cdot B \cdot n}{\beta \cdot T} \sqrt{\left(\pi \cdot \frac{(D + k_1 \cdot d \cdot \sqrt{\psi})}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2 + T^2} +$$

$$+ a_4 \cdot \frac{\pi \cdot (L - \Delta L)}{12 \cdot \cos \alpha} (D_k^2 + d \cdot D_k - 2 \cdot d^2) + a_5 \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot L_{cm} \quad (7)$$

На зміну параметрів гвинтового пристрою накладаються обмеження.

– Технологічні:

1. Умова забезпечення необхідної сили затиску

$$f_1 = \frac{2 \cdot M_{кр} \cdot \beta}{D} - P_3 \leq 0, \quad (8)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент, прикладений до затискної спіралі; P_3 – сила затиску заготовки;

2. Умова забезпечення стійкості затискної спіралі з умови міцності

$$f_2 = \delta - \frac{H}{B} \leq 0, \quad (9)$$

де δ – допустима питома товщина затискної спіралі, $\delta = 0,05 \dots 0,07$ для навитих спіралей.

3. Умова міцності витка на згин

$$f_3 = \frac{6 \cdot M_{зг} \cdot k}{H^2 \cdot B} - [\sigma]_{зг} \leq 0, \quad (10)$$

де $M_{зг}$ – згинний момент, що діє на виток; k – коефіцієнт тертя; $[\sigma]_{зг}$ – допустима границя міцності витка спіралі на згин.

– Конструктивні:

4. Умова забезпечення величини зовнішнього діаметра затискної спіралі

$$f_4 = D - D_{зат} \leq 0, \quad (11)$$

5. Умова забезпечення фіксації затискної спіралі на конічній втулці

$$f_5 = \alpha - \alpha_{max} \leq 0, \quad (12)$$

де α_{max} – найбільший кут нахилу твірної конуса конічної втулки, $\alpha_{max} = 12^\circ$.

6. Умова забезпечення внутрішнього діаметра затискної спіралі

$$f_6 = d_{cm} - d \leq 0, \quad (13)$$

де d_{cm} – діаметр привідного стрижня.

7. Умова забезпечення необхідної кількості витків затискної спіралі

$$f_7 = \frac{(L - \Delta L)}{T \cdot \cos \alpha} - n \leq 0. \quad (14)$$

За незалежні змінні приймаємо такі параметри гвинтового затискного пристрою:

$$x_1 = B, \quad x_2 = H, \quad x_3 = \cos \alpha, \quad x_4 = n, \quad x_5 = D, \quad x_6 = d.$$

Враховуючи цю умову, функцію мети можна представити

$$F = C_1 + C_2 + a_3 \cdot \frac{k_1 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_4}{\beta \cdot T} \sqrt{\left(\pi \cdot \frac{(x_5 + k_1 \cdot x_6 \cdot \sqrt{\psi})}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2 + T^2} +$$

$$+ a_4 \cdot \frac{\pi \cdot (L - \Delta L)}{12 \cdot x_3} (D_k^2 + x_6 \cdot D_k - 2 \cdot x_6^2) + a_5 \cdot \frac{\pi \cdot x_6^2}{4} \cdot L_{cm} \quad (15)$$

Функції обмеження при цьому набудуть вигляду

$$f_1 = C_{11} - a_{11} \cdot x_5 \leq 0, \quad f_2 = C_{22} - \frac{x_2}{x_1} \leq 0, \quad f_3 = \frac{a_{33}}{x_2^2 \cdot x_1} - C_3 \leq 0, \quad f_4 = x_5 - C_4 \leq 0,$$

$$f_5 = x_3 - C_5 \leq 0, \quad f_6 = C_6 - x_6 \leq 0, \quad f_7 = \frac{a_7}{x_3} - x_4 \leq 0$$

де

$$a_{11} = P_3, a_4 = 6M_{32}k, a_7 = \frac{(L - \Delta L)}{T}, C_{11} = 2M_{кр} \beta, C_{22} = \delta, C_3 = [\sigma]_{32}, C_4 = D_{32},$$

$$C_5 = \alpha_{max}, C_6 = d_{cm}.$$

Використовуючи метод множників Лагранжа, де $\varphi(x, u) = f_0 + \sum_{i=1}^7 u_i f_i$, $u_i \geq 0$, та застосовуючи умови Куна – Таккера, мінімізуємо функцію мети при $\partial \varphi(x, u) / \partial x_i = 0$, та $u_i f_i = 0$.

Визначаємо часткові похідні

Функції Лагранжа	Цільової функції
$\partial \varphi(x, u) / \partial x_1 = \frac{\partial f_0}{\partial x_1} - \frac{u_2}{x_1^2} + u_3 \frac{a_{33}}{x_2^2} = 0$	$\frac{\partial f}{\partial x_1} = \frac{a_3 k_1 x_2 x_4}{\beta T} \sqrt{\pi^2 \left(\frac{x_5 + k_1 x_6 \sqrt{\psi}}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2} + T^2$
1	2
$\partial \varphi(x, u) / \partial x_2 = \frac{\partial f_0}{\partial x_2} - \frac{u_2}{x_1} - \frac{2a_{33}u_3}{x_1 x_2^3} = 0$	$\frac{\partial f}{\partial x_2} = \frac{a_3 k_1 x_1 x_4}{\beta T} \sqrt{\pi^2 \left(\frac{x_5 + k_1 x_6 \sqrt{\psi}}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2} + T^2$
$\partial \varphi(x, u) / \partial x_3 = \frac{\partial f_0}{\partial x_3} + u_5 + a_7 u_7 = 0$	$\frac{\partial f}{\partial x_3} = -\frac{a_4 \pi (L - \Delta L) (D_k^2 + x_6 D_k - 2x_6^2)}{4x_4^2}$
$\partial \varphi(x, u) / \partial x_4 = \frac{\partial f_0}{\partial x_4} - u_2 x_2 - u_7 = 0$	$\frac{\partial f}{\partial x_4} = \frac{a_3 k_1 x_1 x_2}{\beta T} \sqrt{\pi^2 \left(\frac{x_5 + k_1 x_6 \sqrt{\psi}}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2} + T^2$
$\partial \varphi(x, u) / \partial x_5 = \frac{\partial f_0}{\partial x_5} - a_{11} u_1 + u_4 = 0$	$\frac{\partial f}{\partial x_5} = \frac{a_3 k_1 x_1 x_2 x_4}{\beta T} \frac{\left(\frac{\pi}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2 (x_5 + k_1 x_6 \sqrt{\psi})}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2 (x_5 + k_1 x_6 \sqrt{\psi})^2} + T^2}$
$\partial \varphi(x, u) / \partial x_6 = \frac{\partial f_0}{\partial x_6} - u_6 = 0$	$\frac{\partial f}{\partial x_6} = \frac{a_3 k_1 x_1 x_2 x_4}{\beta T} \frac{\left(\frac{\pi}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2 (k_1 x_5 \sqrt{\psi} + k_1 x_6 \psi)}{\sqrt{\left(\frac{\pi}{\sqrt{\psi} + 1} \right)^2 (x_5 + k_1 x_6 \sqrt{\psi})^2} + T^2} +$ $+\frac{a_4 \pi (L - \Delta L)}{12 x_3} (D_k - 4 x_6) + \frac{a_3 \pi x_6}{2} L_{cm}$

Використовуючи можливі розв'язки, що задовольняють умови Куна – Таккера і можуть спостерігатись при розв'язанні загальної задачі оптимізації залежно від вихідних даних, отримуємо системи рівнянь.

1. Найперше знаходимо величини параметрів $x_1 = B, x_2 = H$ із системи рівнянь, яка включає обмеження за стійкістю (9) та міцністю витків на згин (10):

$$\begin{cases} f_2 = 0 \\ f_3 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} C_{22} - \frac{x_2}{x_1} = 0 \\ \frac{a_{33}}{x_2^2 x_1} - C_3 = 0 \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, отримуємо

$$x_1 = B = \sqrt[3]{\frac{6M_{3z}k}{\delta^2[\sigma]_{3z}}} \quad x_2 = H = \delta \sqrt[3]{\frac{6M_{3z}k}{\delta^2[\sigma]_{3z}}}$$

2. Для знаходження параметрів D та d , використовуємо обмеження (8), (11) і (13):

$$x_5 = D = \frac{2M_{кр}\beta}{P_3}$$

У разі, коли відомий діаметр заготовки, що затискується, використовуємо залежність (11)

$$x_5 = D = D_{заг}$$

Із отриманих залежностей вибирається мінімальний результат.

Величина d визначається із залежності (13)

$$x_6 = d = d_{см}$$

3. При визначенні параметра $x_3 = \alpha$ застосовуються обмеження (12) і (14), де

$$x_3 = \alpha = \alpha_{max},$$

а при відомій кількості витків затискної спіралі n :

$$x_3 = \alpha = \arccos \frac{L - \Delta L}{Tn}$$

4. Для визначення параметра $x_4 = n$ застосовуємо обмеження (12) і (14) і із системи рівнянь знаходимо

$$\begin{cases} f_5 = 0 \\ f_7 = 0 \end{cases} \quad \begin{cases} x_3 - C_5 = 0 \\ \frac{a_7}{x_3} - x_4 = 0 \end{cases}$$

Звідки

$$x_4 = n = \frac{(L - \Delta L)}{T \cos \alpha}$$

Наведена методика ґрунтується на аналізі можливих розв'язків поставленої задачі нелінійного програмування з використанням умови Куна – Таккера, що дозволяє визначити

оптимальні конструктивні параметри та силові характеристики заданого гвинтового затискного пристрою без використання працездатних числових методів.

1. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Пік А.І., Дмитрів Д.В. Оптимізація робочого органу з пружним валом для гнучких гвинтових конвеєрів // Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. – Львів, 2000. – № 412. – С. 84–91. 2. Пилипець М.І., Гевко І.Б., Вітровий А.О. Оптимізація робочого органу з секційних елементів для гнучких гвинтових конвеєрів // Сільськогосподарські машини. – Луцьк, 1999. – Вип. 5. – С. 207–216.

УДК 621.922(923)

Я.О. Шахбазов

Українська академія друкарства,
кафедра технології матеріалів і поліграфічного машинобудування

ТЕХНОЛОГІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПРИ ШЛІФУВАННІ

© Шахбазов Я.О., 2002

Аналізуються закономірності впливу технологічних параметрів правки абразивних шліфувальних кругів на формування шорсткості шліфованої поверхні.

There are analysed grind process laws and technological parameters' influence for surfaces research formation.

Широке застосування шліфування при механічній обробці матеріалів з різними фізико-механічними властивостями на машинобудівних, автомобільних, деревообробних та інших підприємствах зумовлено, насамперед, можливістю ефективного досягнення 7–8 квалітетів точності та шорсткості обробленої поверхні $Ra = 0,63\text{--}1,25$ мкм. Галузі застосування шліфування поширюються і на теперішній час не тільки викінчувальні та попередні, але і заготівельні операції механічної обробки виконуються шліфуванням.

Ефективність досягнення показників процесу на цих операціях забезпечується відповідним станом робочої поверхні шліфувальних кругів (РПШК), яка формується під час їх правки [1–4]. Максимально розвинений рельєф РПШК забезпечує високу різальну здатність та створюється з метою продуктивного зрізання більшої частини припуску на заготівельних та попередніх операціях шліфування. На операціях викінчувального шліфування основною метою є досягнення низької шорсткості обробленої поверхні, що вимагає створення мінімально розвиненого рельєфу РПШК. Тому переваги шліфування можна реалізувати повніше, якщо створюються технологічні умови керування станом РПШК під час правки залежно від вимог до обробки.

Аналіз експериментальних досліджень [1, 4] показує, що шорсткість формується кінематичним перенесенням мікрорельєфу РПШК на оброблену поверхню з відповідним спотворенням внаслідок дії пружних та пластичних деформацій. Створення закономірного