

УДК 621.867.42

І.О.Павлова¹, Р.Б.Гевко²

¹ Луцький державний технічний університет

² Тернопільська академія народного господарства

ВИЗНАЧЕННЯ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ В ШАРНІРНИХ ЕЛЕМЕНТАХ ГНУЧКОГО ВАЛУ

У статті проведено теоретичне обґрунтування для визначення конструктивних параметрів поверхонь елементів взаємодії шарнірних з'єднань секцій гвинтових конвеєрів. Встановлено рівень максимальних напружень на площині контакту.

Транспортування сипких вантажів по криволінійних трасах в замкнених гнучких кожухах дозволяє суттєво інтенсифікувати технологічні процеси при роботі з матеріалами сільськогосподарського виробництва.

В останній час ведеться активний пошук нових науково обґрунтованих конструктивних рішень гвинтових робочих органів, застосування яких значно підвищило б експлуатаційні показники гнучких гвинтових конвеєрів. Так, в останніх публікаціях [1, 2, 3] обґрунтовуються конструктивні, силові та кінематичні параметри нових схем шарнірних секційних гвинтових робочих органів, які забезпечують гарантовану подачу сипких матеріалів по криволінійних трасах.

Однак питання ресурсних показників таких типів робочих органів не досліджувались, що є необхідною умовою для їх впровадження у виробництво.

Тому основною метою даних досліджень є визначення величини контактних напружень в елементах зачеплення шарнірних з'єднань гвинтових секцій, рівень яких є визначальним показником, що впливає на інтенсивність зношення поверхонь контакту.

З аналізу проведених досліджень [1, 4] встановлено, що найбільш прийнятними з точки зору технології виготовлення та забезпечення задовільного рівня контактних навантажень при взаємодії сферичних тіл з поверхнями лунок є їх виконання у вигляді ввігнутої сферичної та конусної поверхонь.

Варіант взаємодії кульок із ввігнутою сферичною поверхнею торцевих лунок детально розглянуто в праці [4]. Таке виконання елементів зачеплення характеризується значними площами контакту тіл взаємодії і відповідно незначним рівнем контактних напружень. Однак в процесі експлуатації при порушенні початкового положення елементів зачеплення крутний момент різко падає, а взаємодія кульки з лункою здійснюється через торцеву кромку, яка внаслідок значних контактних напружень швидко руйнується.

В іншому варіанті (конусна лунка - кулька) контактні напруження є стабільними при виникненні незначних переміщень. Однак рівень їх величини є невизначений, що потребує проведення відповідних досліджень.

Таким чином, метою проведення теоретичних досліджень є встановлення взаємозв'язку між величиною контактних напружень та конструктивними параметрами елементів зачеплення секцій гвинтового робочого органу.

В загальному випадку для взаємодії двох тіл [5] площа контакту має вигляд еліпса з півосями

$$a = \alpha \sqrt[3]{\frac{3P(1-\mu^2)}{E\left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho'_1} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho'_2}\right)}}; \quad b = \beta \sqrt[3]{\frac{3P(1-\mu^2)}{E\left(\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho'_1} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho'_2}\right)}}; \quad (1)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона; P – зусилля в зоні контакту тіл взаємодії; $\rho_1, \rho'_1, \rho_2, \rho'_2$ – радіуси кривизни тіл контакту; E – модуль пружності.

Радіуси кривизни вважаються додатними, якщо їх центри знаходяться всередині тіла.

Значення коефіцієнтів α і β наводяться в таблиці [5, ст. 655] як функції допоміжного кута ψ , що розраховується за формулою

$$\cos\psi = \frac{\pm \sqrt{\left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho'_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho'_2}\right)^2} + 2\left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho'_1}\right) \cdot \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho'_2}\right) \cos 2\varphi}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho'_1} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho'_2}}, \quad (2)$$

де φ – кут між головними площинами кривизни тіл, в яких лежать менші радіуси ρ_1 і ρ_2 . Для конкретного випадку кут φ рівний 90° .

Для визначення величини l попередньо виведено залежність для розрахунку параметра k . З врахуванням (4) отримаємо

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{Z}{k}; \\ k &= \frac{r \sin \alpha - \delta}{\cos \alpha}. \end{aligned} \quad (5)$$

Тоді

$$l = \sqrt{r^2 + k^2} = \sqrt{r^2 + \left(\frac{r \sin \alpha - \delta}{\cos \alpha} \right)^2}. \quad (6)$$

Величина Δ визначається з умови

$$\Delta = l - r = \sqrt{r^2 + \left(\frac{r \sin \alpha - \delta}{\cos \alpha} \right)^2} - r. \quad (7)$$

Наступним етапом розрахунку є встановлення функціональної залежності кута γ , який визначає дугу від точки контакту кульки з лункою до лінії, що з'єднує центр кульки з кромкою лунки в площині А-А. Попередньо визначено величину m

$$\sin \alpha = \frac{Z}{m}; \quad m = \frac{Z}{\sin \alpha} = \frac{r \sin \alpha - \delta}{\sin \alpha}. \quad (8)$$

Тоді

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \frac{r - m}{r}; \\ \gamma &= \arccos \left(\frac{r - \frac{r \sin \alpha - \delta}{\sin \alpha}}{r + \Delta} \right) = \arccos \left(\frac{\delta}{(r + \Delta) \sin \alpha} \right). \end{aligned} \quad (9)$$

Враховуючи (9) визначаємо величину X

$$\begin{aligned} \sin \gamma &= \frac{x}{r + \Delta}; \\ x &= (r + \Delta) \sin \left(\arccos \left(\frac{\delta}{(r + \Delta) \sin \alpha} \right) \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Для розрахунку R визначаємо аналітичні залежності для визначення Y і кута φ

$$Y = \sqrt{x^2 + m^2}$$

$$Y = \sqrt{\left\{ (r + \Delta) \sin \left(\arccos \left(\frac{\delta}{(r + \Delta) \sin \alpha} \right) \right) \right\}^2 + \left\{ \frac{r \sin \alpha - \delta}{\sin \alpha} \right\}^2}. \quad (11)$$

Кут φ з врахуванням (8) і (10) визначається з умови

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \frac{x}{m}; \\ \varphi &= \operatorname{arctg} \left[\frac{(r + \Delta) \sin \left(\arccos \left(\frac{\delta}{(r + \Delta) \sin \alpha} \right) \right)}{\frac{r \sin \alpha - \delta}{\sin \alpha}} \right]. \end{aligned} \quad (12)$$

В загальному випадку значення R розраховується за формулою:

$$\cos \varphi = \frac{Y}{2R}; \quad R = \frac{Y}{2 \cos \varphi}. \quad (13)$$

Для зменшення громіздкості кінцевої формули для визначення R , його розрахунок доцільно здійснювати із системи рівнянь з врахуванням (13), (12), (11), (7) і (6)

$$\left\{ \begin{aligned} R &= \frac{Y}{2 \cos \varphi}; \\ \varphi &= \operatorname{arctg} \left[\frac{(r + \Delta) \sin \left(\arccos \left(\frac{\delta}{(r + \Delta) \sin \alpha} \right) \right) \sin \alpha}{r \sin \alpha - \delta} \right]; \\ Y &= \sqrt{\left\{ (r + \Delta) \sin \left(\arccos \left(\frac{\delta}{(r + \Delta) \sin \alpha} \right) \right) \right\}^2 + \left\{ \frac{r \sin \alpha - \delta}{\sin \alpha} \right\}^2} \\ \Delta &= \sqrt{r^2 + \left(\frac{r \sin \alpha - \delta}{\cos \alpha} \right)^2} - r. \end{aligned} \right. \quad (14)$$

Застосовуючи формулу (3), табличні значення для визначення α і β , залежності (1) та систему рівнянь (14) при встановленому значенні зусилля P максимальні напруження стиску в центрі площини контакту визначаються за формулою [5].

$$\sigma_{\max} = 1,5 \frac{P}{\pi ab}. \quad (15)$$

Таким чином, складна система рівнянь (14) дозволяє варіативним методом підібрати такі геометричні параметри торцевих поверхонь гвинтових секцій, які при заданих зусиллях контакту, відповідних матеріалах дозволяють забезпечити умову, при якій максимальні напруження не перевищували допустимі.

1. Розум Р.І., Павлова І.О. Результати експериментальних досліджень завантажувального патрубку та шарнірного несучого валу гвинтового конвеєра // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства, випуск №24 „Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – Харків, 2004. – С. 310-313.
2. Розум Р.І., Гевко Р.Б. Кінетостатичний розрахунок завантажувального патрубку гвинтового конвеєра // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей, випуск 10. – Луцьк: Редакційно-видавничий відділ ЛДТУ, 2002. – С. 188-195.
3. Розум Р.І. Силовий аналіз завантажувального патрубку гвинтового конвеєра // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства, випуск №17 „Підвищення надійності відновлювальних деталей машин”. – Харків, 2003. – С. 203-207.
4. Вітровий А.О., Гевко Р.Б. Силовий аналіз робочого органу гнучкого гвинтового конвеєра // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей, випуск 4. – Луцьк: Видавництво ЛДТУ. – 1998. – С. 34-36.
5. Сопротивление материалов: Учебник для вузов / Под общ. ред. акад. НА УССР Г.С.Писаренко. – Киев: Вища школа, 1979. – 696 с.