

УДК 675.5.621

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗРАХУНКУ ЛАНОК ЛАНЦЮГА КОНВЕЄРА З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Девін В.В.

Ткачук В.С.

Подільський державний агротехнічний університет

Пришляк В.М.

Вінницький національний аграрний університет

Тяговым органом в подвесных конвейерах являются разборные или двухшарнирные цепи. При работе с пищевыми продуктами недопустимо использование смазочных материалов. Использование полимерных материалов при изготовлении конвейеров в перерабатывающей промышленности позволяет работать без смазки цепи. Кроме того, применения полимерных материалов позволяет уменьшить массу конвейера, мощность двигателей и привода, а также энергозатраты.

Чтобы получить достаточное тяговое усилие, полимеры необходимо армировать непрерывными волокнами. При изготовлении звена двухшарнирной цепи из полимерных композиционных материалов вставку обматывают в специальном приспособлении пропитанными смолой непрерывными волокнами. Разборные цепи в подвесных конвейерах состоят из двух внешних и внутренних звеньев, соединенных пальцем.

Для исследования напряженно-деформированного состояния звеньев цепи конвейера представляем их как анизотропные кольца. Контактная задача нагружения кольца штампом решается методом прогонки. Получено распределение нормальных и касательных напряжений в частях кольца для различных значений физико-механических характеристик материала кольца и для различных значений зазора. Использование намотки для изготовления звеньев цепи конвейера дает возможность значительно уменьшить массу цепи.

Результаты расчетов позволяют сделать выводы о том, что для колец с относительной толщиной менее 0,5 независимо от физико-механических свойств материала распределение напряжений очень неравномерно. Для повышения несущей способности звеньев цепи конвейера необходимо увеличивать относительный радиус внутреннего волокна и уменьшать относительную толщину кольца.

. A hauling organ in the suspended conveyers are demountable or two joint chains. During work with food products impermissible the use of lubricating materials. Using of polymeric materials for making of conveyers in processing industry allows to work without greasing of chain. Except for that application of polymeric materials allows to decrease mass of conveyer, power of engines and drive, and also expenses of energy.

To get sufficient hauling effort, polymers must be reinforced continuous fibres. At making of link of two joint chain from polymeric composition materials an insertion is wrapped around in the special adaptation the resinated continuous fibres. Demountable chains in the suspended conveyers consist of two external and internal links of united by a finger.

For research intense-deformed statuses of parts of a circuit of the conveyor is represented them anisotropic of a ring. The contact task of loading of a ring by a stamp is solves by drive method. The distribution normal and tangent of stresses in parts of a ring for various values of the physical-mechanical characteristics of a material of a ring and for various values of a backlash is received. Use of winding for manufacturing parts of a circuit of the conveyor enables considerably to reduce weight.

The results of calculations allow to draw a conclusion that for rings with a relative thickness less than 0,5 regardless of physical and mechanical properties of material distributing of tensions very unevenly. For the increase of bearing strength of links of chain of conveyer it is necessary to increase the relative radius of internal fibre and diminish the relative thickness of ring.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.

Тяговим органом в підвісних конвеєрах є розбірні або двохшарнірні ланцюги. При роботі з харчовими продуктами недопустиме використання мастильних матеріалів. Використання полімерних матеріалів при виготовленні конвеєрів в переробній промисловості дозволяє працювати без змащування ланцюга. Крім того, застосування полімерних матеріалів дозволяє зменшити масу конвеєра, потужність двигунів і приводу, а також енерговитрати.

Щоб одержати достатнє тягове зусилля, полімери необхідно армувати неперервними волокнами. При виготовленні ланки двохшарнірного ланцюга з полімерних композиційних матеріалів вставку обмотують в спеціальному пристосуванні просоченими смолою неперервними волокнами. Розбірні ланцюги в підвісних конвеєрах складаються з двох зовнішніх і внутрішньої ланок, з'єднаних пальцем. Представляємо ланку анізотропним кільцем, а палець – штампом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.

В АС СРСР № 1500273, патентах США № 4150584, № 3804232, № 4198814, № 4439627 пропонуються конструкції деталей конвеєра з термопластів (нейлон, поліамід), армованих короткими скло- або вуглецевими волокнами. Так як границя міцності такого термопласта не перевищує 200 МПа, то розривне зусилля ланцюга невелике.

Мета дослідження

Одержати розподіл нормальних та дотичних напружень в частинах кільця для різних значень фізико-механічних характеристик матеріалу кільця та для різних значень зазору.

Результати дослідження

Контактна задача навантаження кільця штампом розв'язується методом прогонки.

Розглядаємо контактну задачу для кільця, навантаженого розтягуючою силою, прикладеною до штампа.

Отже, розглядається кругове кільце з матеріалу, якому властива циліндрична ортотропія. Внутрішній і зовнішній радіуси кільця відповідно r_1 та r_2 . Кільце розтягується абсолютно жорсткими напівдисками до створення зазору 2δ між ними. Для плоского напруженого стану диференціальні рівняння рівноваги в переміщеннях мають вигляд [4] :

$$D_2 r^2 \frac{\partial^2 U_r}{\partial r^2} + D_2 r \frac{\partial U_r}{\partial r} - D_1 U_r + D_4 \frac{\partial^2 U_r}{\partial \varphi^2} + D_6 r \frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial r \partial \varphi} - D_7 \frac{\partial U_\varphi}{\partial \varphi} = 0; \quad (1)$$

$$D_4 r^2 \frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial r^2} + D_4 r \frac{\partial U_\varphi}{\partial r} - D_4 U_\varphi + D_1 \frac{\partial^2 U_\varphi}{\partial \varphi^2} + D_6 r \frac{\partial^2 U_r}{\partial r \partial \varphi} + D_7 \frac{\partial U_r}{\partial \varphi} = 0,$$

де D залежать від пружних сталей матеріалу E_r , E_φ , $G_{r\varphi}$, $\nu_{r\varphi}$.

Переміщення U , U_φ , зазор δ та координату r віднесемо до зовнішнього радіуса r_2 й будемо вважати їх безрозмірним, тобто $\alpha \leq r \leq 1$, де $\alpha = r_1/r_2$. Вважаючи напівдиски гладенькими й враховуючи ненавантаженість зовнішньої границі кільця, запишемо граничні умови у вигляді:

$$U_r = \Delta \cos ; \tau = 0 \text{ при } r = \alpha; \quad (2)$$

$$\sigma_r = 0; \tau = 0 \text{ при } r = 1,$$

де $\Delta = \delta r_2$ – відносний зазор.

З умови симетрії розрахункової схеми розв'язок системи (1) шукаємо у вигляді

$$U_r = \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} V_{r,n}(r) \cos n\varphi + V_{r,0}; \quad (3)$$

$$U_\varphi = \sum_{n=2,4,\dots}^{\infty} V_{\varphi,n}(r) \sin n\varphi.$$

Визначаючи похідні й підставляючи їх в рівняння (1), приходимо до системи двох диференціальних рівнянь у вигляді :

$$\begin{cases} D_2 r^2 V_{r,n}'' + D_2 r V_{r,n}' - G_1 V_{r,n} + G_2 r V_{\varphi,n}' - G_3 V_{\varphi,n} = 0, \\ D_4 r^2 V_{\varphi,n}'' + D_4 r V_{\varphi,n}' - G_1 V_{\varphi,n} - G_2 r V_{r,n}' - G_3 V_{r,n} = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

де штрихи означають диференціювання по змінній r ; G_i – нові константи, що виражаються через D_i та n . Краєві умови запишуться:

$$V_{r,0} = G_0 \Delta \text{ при } r = \alpha;$$

$$D_2 V'_{r,0} - D_0 V_{r,0} = 0 \text{ при } r = 1, \quad (5)$$

де $G_0 = 2/\pi$.

Для розв'язку краєвої задачі (4), (5) розроблено уточнений метод прогонки. Ділячи відрізок $[a, b]$ на m частин з кроком $h = (b-a)/m$, представляємо похідні у внутрішніх точках відрізка у вигляді :

$$y'_i = \frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h}; \quad y''_i = \frac{y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}}{h^2}, \quad (6)$$

а для краєвих точок a, b відповідно:

$$y'_1 = \frac{-3y_1 + 4y_2 - y_3}{2h}; \quad y'_{m+1} = \frac{y_{m-1} - 4y_m + 3y_{m+1}}{2h}, \quad (7)$$

При прямому ході визначались коефіцієнти рівнянь, що зв'язують значення шуканих функцій y, z в даній точці зі значеннями цих функцій в двох послідовних точках. Так, для внутрішніх точок співвідношення мають вигляд:

$$y_i = M_{1i} y_{i+1} + M_{2i} z_{i+1} + M_{3i}; \quad (8)$$

$$z_i = M_{4i} y_{i+1} + M_{5i} z_{i+1} + M_{6i},$$

де M_{ji} – елементи векторів, які будуються при прямому ході й залежать від $E_r, E_\varphi, G_{r\varphi}, v_{r\varphi}$, коефіцієнтів α_k, β_k , значень функції $f_i(x)$ в точках поділу.

$v_{r\varphi}$, коефіцієнтів α_k, β_k , значень функції $f_i(x)$ в точках поділу.

При оберненому ході послідовно визначались розв'язки y_i, z_i в точках поділу відрізка справа наліво. Обчислення похідних виконувалось в новому циклі після побудови векторів y, z за формулами виду (6), (7).

Задача розв'язувалась на ЕОМ при різних пружних характеристиках матеріалу і відносних товщинах α кільця. Основна програма являє собою алгоритм дослідження НДС пропонованої системи; з огляду на симетрію розглядалась чверть кільця, тобто $0 \leq \varphi \leq \pi/2$.

Пропонований метод прогонки був оформлений в підпрограму, яка використовувалась при значеннях $n = 2, 4$, для побудови матриць y, z, y', z' розмірністю $m \times p$, де значення p підбиралось так, щоб забезпечити збіжність при обчисленні напружень $\sigma_r, \sigma_\varphi, \tau$ (формули для них через громіздкість обчислень не наводяться).

Що стосується значень m , треба відмітити, що метод перевірявся на контрольному прикладі з відомим аналітичним розв'язком [3]. Так, при розбитті відрізка одиничної довжини на 100 частин досягалась точність розв'язку з похибкою, меншою 1% в кожній точці поділу.

У відповідності з вибраною методикою виконувалось початкове розбиття на 10 m частин відрізка $[\alpha, 1]$ для побудови векторів y_i, z_i з високою точністю, а потім вже будувались матриці y_i, z_i, y'_i, z'_i розмірністю $m \times p$, тобто вздовж радіуса r НДС досліджувалось в $m + 1$ точках.

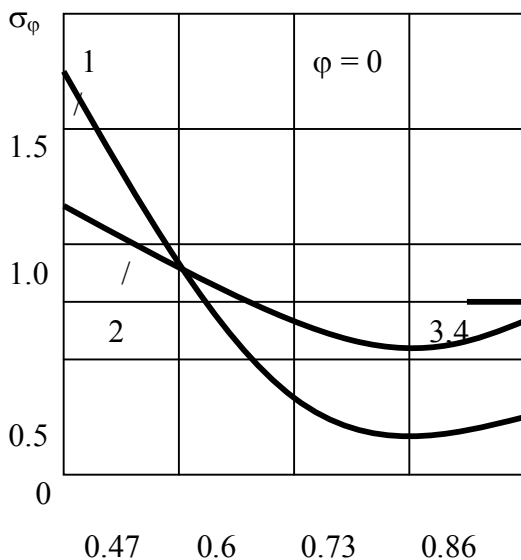


Рис. 1. Розподіл колових напружень.

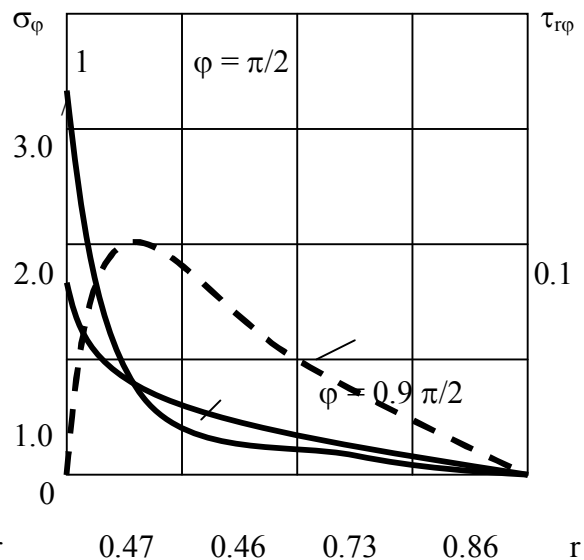


Рис. 2. Розподіл колових та дотичних напружень.

На рис. 1 показано розподіл колових напружень σ_φ в перерізі $\varphi = 0$, а на рис. 2 – в перерізі $\varphi = \pi/2$. На рис. 1,2 кривим 1, 2 відповідають значення $\alpha = 0,472$; $E_r/E_\varphi = 0,25$; $E/E_\varphi = 1$, а кривим 3, 4 $\alpha = 0,95$ і ті ж значення E_r/E_φ по даним роботи [3]. Як видно з рис. 1, для кілець з товщиною $\alpha = 0,472$ в перерізі $\varphi = 0$ для $E_r/E_\varphi = 0,25$ максимальні напруження по внутрішньому кільцю збільшуються на 40% порівняно з ізотропним кільцем ($E/E_\varphi = 1$), тоді як для тонких кілець розподіл напружень рівномірний.

У перерізі $\varphi = \pi/2$ (рис. 2) нерівномірність розподілу напружень по радіусу при збільшенні відносної товщини до $\alpha = 0,472$ різко збільшується. Так, для $E/E_\varphi = 1$ і $E_r/E_\varphi = 0,25$ максимальні колові напруження збільшуються відповідно в 2,9 і 4 рази по внутрішніх волокнах кільця порівняно з кільцями з відносною товщиною $\alpha = 0,95$.

Розподіл дотичних напружень $\tau_{r\varphi}$ для $E/E_\varphi = 1$ показано штриховою лінією на рис. 2. Найбільше значення напруження ϵ на відстані 0,1 товщини кільця в поперечному перерізі під кутом $\varphi = 0,9 \pi/2$ і на порядок менше нормальних напружень .

Висновки.

1. Для кілець з відносною товщиною менше 0,5 незалежно від фізико-механічних властивостей матеріалу розподіл колових напружень дуже нерівномірний.
2. При зменшенні відношення E_r/E_φ нерівномірність розподілу напружень по поперечному перерізу збільшується.
3. Найбільша нерівномірність розподілу колових напружень σ_φ має місце в крайній точці контакту кільця і пальця, де при статичних випробуваннях саме і проходить руйнування.
4. Для підвищення несучої здатності ланок ланцюга конвеєра необхідно збільшувати відносний радіус внутрішнього волокна і зменшувати відносну товщину кільця.

Використаємо одержані результати для розрахунку ланок ланцюга з армованих композиційних матеріалів.

На основі обробки результатів рішення величина максимального розтягуючого зусилля запишеться:

$$P_{\max} = \frac{\sum \tilde{\sigma}_r}{\alpha(1-\alpha)K_\sigma^{\max}} 2F\sigma^a, \quad (9)$$

$$\text{де } \sum \tilde{\sigma}_r = \int_0^{\pi/2} \tilde{\sigma}_r \cos \varphi d\varphi, \quad \alpha = r_1/r_2,$$

K_σ^{\max} – максимальний коефіцієнт концентрації колового напруження,

F – площа арматури,

σ^a – границя міцності арматури.

Для випадку армування скловолокнами з $\sigma_B^a = 2500$ МПа $\alpha = 0,42$, $\sum \tilde{\sigma}_r = 0,2662$, $K_\sigma^{\max} = 4,173$, $P = 29700$ Н. Маса ж такої ланки буде 0,035 кг.

У двошарнірному ланцюзі конвеєра ПМЦ-200 Д використовується пластина з сталі 45Г товщиною 6 мм, масою 0,337 кг і розривним зусиллям 32900 Н без врахування концентрації напруження. Щоб отримати таке ж розривне зусилля ланцюга, вставку з поліаміду обмотаємо скловолокном з $\sigma_B = 2500$ МПа, просоченим епоксидною смолою. Необхідна площа поперечного перерізу арматури при коефіцієнті армування $\eta = 0,7$ буде 19 мм², а маса такої пластини 0,035 кг, що в 9 раз менше сталевій. Звідси видно ефективність використання армованих полімерних матеріалів для виготовлення ланок ланцюга конвеєра.

Література

1. АС СРСР № 1500273.
2. Патент США № 3804232, № 4150584, № 4198814, № 4439627.
3. Парцевский В.В. О растяжении анизотропного кольца жесткими полудисками. *Мех. полим.* – № 6. – 1970. – 1113.
4. Лехницкий С.Г. *Теория упругости анизотропного тела.* – М., 1950.