

кількість матеріалу, за умови його постачання порціями, вимагає застосування стрічки підвищеної ширини (до двох метрів).

В стрічці такої ширини кількість тросів сягає декількох сотень.

Доменна піч – агрегат неперервної дії. Порушення ритму постачання сировинних матеріалів в доменну піч призводить до порушення безперервного технологічного процесу виплавляння чавуну та до значних матеріальних втрат.

На ділянці взаємодії стрічки з барабаном троси, через гумову оболонку, тиснуть на барабан. Руйнування гумової оболонки веде до руйнування стрічки – основного чинника виходу їх з ладу. Встановлення напружено-деформованого стану (НДС) оболонки гумовотросової стрічки при силовій взаємодії з барабаном дозволить врахувати цей чинник при проектуванні сучасних потужних конвеєрів, підвищити термін експлуатації стрічок.

Питання взаємодії гумотросової стрічки з барабаном розглядалося в роботах [ 2 - 4]. У вказаних роботах не досліджувався вплив її конструкції на розподіл напружень в гумовій оболонці на ділянці взаємодії з барабаном.

Значна кількість тросів в стрічці представляє її як стрічку з безмежною кількістю тросів. Схема частини такої стрічки показана на рис. 2.

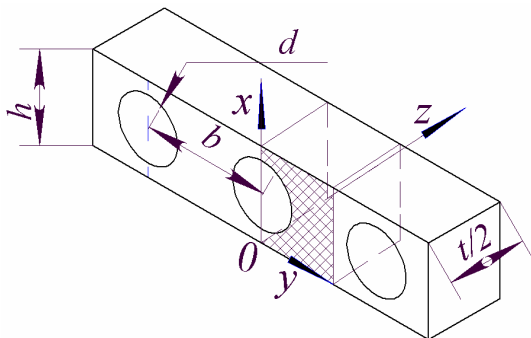


Рис. 2. Схема розташування тросів в перерізі стрічки

Виділимо з наведеного зразка систематично повторюваний елемент показаний штриховкою на рисунку. Побудувати розв'язок для елемента такої складної форми та забезпечити його систематичну повторюваність достатньо складно.

Спростимо задачу, знехтувавши наявністю тросів та розглянувши зразок призматичної форми розмірами  $h \times \frac{b}{2} \times t$ . Будемо вважати що зразок виконано з матеріалу оболонки стрічки – гуми, поверхню  $x = h$ , яка взаємодіє з барабаном. По цій поверхні у разі умовного приклеювання стрічки, переміщення стрічки відносно барабана відсутні.

Звідки

$$u_y = u_x = u_z = 0. \quad (1)$$

На поверхню  $x = 0$  не діють зовнішні сили тому  $X_x = 0, X_z = X_y = 0$

Граничні умови для поверхні  $y = 0$

$$u_y = 0, X_y = 0, Z_y = 0, \quad (3)$$

По поверхні  $y = \frac{b}{2}$  відсутності переміщення в

напрямку осі  $y$  та симетричності деформування відносно вказаної площини:

$$u_y = 0, \quad \frac{\partial u_x}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial u_z}{\partial y} = 0. \quad (4)$$

По поверхням  $z = \pm t/2$

$$u_z = 0, \quad Z_y = 0 \quad (5)$$

Наведені умови відповідають незмінності висоти зразку. Окрім того при  $z = \pm t/2$  переміщення поверхонь, що відповідають тросам повинні бути рівними поміж собою. Задамо їх як  $\delta$ . По іншій частині поверхні не мають діяти дотичні напруження  $Z_x$ , тобто:

$$\begin{cases} y^2 + \left(x - \frac{h}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{d}{2}\right)^2 & u_x = \delta, \\ y^2 + \left(x - \frac{h}{2}\right)^2 > \left(\frac{d}{2}\right)^2 & Z_x = 0. \end{cases} \quad (6)$$

Забезпечити виконання такої умови складно. Замінімо її умовою

$$\sqrt{u_x \cdot Z_x} = \begin{cases} 1 \text{ коли } y^2 + \left(x - \frac{h}{2}\right)^2 \leq \left(\frac{d}{2}\right)^2, \\ 0 \text{ коли } y^2 + \left(x - \frac{h}{2}\right)^2 > \left(\frac{d}{2}\right)^2. \end{cases} \quad (7)$$

Розкладемо (7) в ряд по косинусам

$$f(n, m) = \frac{8 \int_0^{hb/2} \int_0^0 \sqrt{u_x Z_x} \cos(x N_n) \cos(y M_m)}{b h}.$$

Для розв'язання задачі визначення НДС гумової оболонки стрічки застосуємо одну бігармонічну функцію

$$\varphi = \sum_{n=1}^K \sum_{m=1}^K A_{n,m} \left[ \text{sh}(C_{n,m} z) + D_{n,m} z \text{ ch}(C_{n,m} z) \right] \times \sin(N_n x) \cos(M_m y), \quad (8)$$

$$\text{де } N_n = \frac{(n+1/2)\pi}{h}; \quad M_m = \frac{2\pi m}{b}.$$

В цьому випадку переміщення та напруження будуть визначатися залежностями

$$2Gu_x = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial z}, \quad 2Gu_y = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y \partial z},$$

$$2Gu_z = \left[ 2(1-\mu)\Delta^2 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] \varphi,$$

$$X_x = \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu\Delta^2 - \frac{\partial^2}{\partial x^2} \right] \varphi, \quad X_y = -\frac{\partial^3 \varphi}{\partial x \partial y \partial z},$$

$$Y_y = \frac{\partial}{\partial z} \left[ \mu\Delta^2 - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right] \varphi,$$

$$Y_z = \frac{\partial}{\partial y} \left[ (1-\mu)\Delta^2 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] \varphi, \quad (9)$$

$$Z_z = \frac{\partial}{\partial z} \left[ (2-\mu)\Delta^2 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] \varphi,$$

$$Z_x = \frac{\partial}{\partial x} \left[ (1-\mu)\Delta^2 - \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right] \varphi,$$

$$\text{де } \Delta^2(\dots) = \frac{\partial^2(\dots)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\dots)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\dots)}{\partial z^2}.$$

Переміщення вздовж тросів – осі  $x$  для обраної функції, відповідно до (9), мають вигляд

$$u_x = \sum_{n=0}^K \sum_{m=0}^K A_{n,m} \left[ \text{ch}(C_{n,m}z) + D_{n,m} \left( \frac{\text{ch}(C_{n,m}z)z}{C_{n,m}} + z \text{sh}(C_{n,m}z) \right) \right] \times \frac{C_{n,m}}{2} \cos(N_n x) \cos(M_m y). \quad (10)$$

Напруження зсуву

$$Z_x = \sum_{n=0}^K \sum_{m=0}^K A_{n,m} \left[ \text{sh}(C_{n,m}z) + D_{n,m} \left( 2 \frac{\text{sch}(C_{n,m}z)}{C_{n,m}} \mu + z \text{sh}(C_{n,m}z) \right) \right] \times C_{n,m}^2 \times \cos(N_n x) \cos(M_m y) n. \quad (11)$$

Знайдений нормальний тиск

$$X_x = \sum_{n=0}^K \sum_{m=0}^K A_{n,m} \left[ \text{ch}(C_{n,m}z) C_{n,m} n^2 + D_{n,m} \left( z \text{sh}(C_{n,m}z) \mu C_{n,m} n^2 + \text{ch}(C_{n,m}z) (2\mu C_{n,m}^2 + n^2) \right) \right] \times \sin(N_n x) \cos(M_m y). \quad (12)$$

З умови відсутності переміщень по границям зразку  $z = \pm \frac{t}{2}$  знайдемо невідомі сталі

$$D_{n,m} = - \left[ 2 \frac{2\mu-1}{C_{n,m}} + \frac{t}{2} \text{cth} \left( C_{n,m} \frac{t}{2} \right) \right]^{-1}.$$

Значення сталих  $A_{n,m}$  знайдемо з умови забезпечення характеру деформування поверхні зразка при  $z = \pm \frac{t}{2}$  (7) заданою функцією  $f(n, m)$

$$A_{1n,m} = \frac{f(n,m) \left[ \text{sh} \left( C_{n,m} \frac{t}{2} \right) C_{n,m} + D_{n,m} \left( 2 \text{sh} \left( C_{n,m} \frac{t}{2} \right) \frac{\mu}{C_{n,m}} + \frac{t}{2} \text{ch} \left( C_{n,m} \frac{t}{2} \right) \right) \right]^{-0.5}}{\sqrt{2 \left[ \text{ch} \left( C_{n,m} \frac{t}{2} \right) C_{n,m} + D_{n,m} \left( \text{ch} \left( C_{n,m} \frac{t}{2} \right) + \frac{t}{2} \text{sh} \left( C_{n,m} \frac{t}{2} \right) \right) C_{n,m}^2 n \right]}}$$

Обрана функція в основному забезпечує виконання граничних умов. Кінематична умова

$$\frac{\partial u_z}{\partial y} = 0 \text{ з умов (4) виконується лише в площині } z=0. \text{ З}$$

урахуванням вище викладеного напружено-деформований стан вирізаного елемента гумової оболонки стрічки визначили в перерізі  $z=0$ . Результати порівнювали з розрахунками для поверхні  $z = \pm \frac{t}{2}$ . При

цьому діаметри троса вважали рівними одиниці. Враховувалося лише те, що стрічка має безмежну кількість тросів. Нижче викладені ряд результатів стосовно напружено-деформованого гумового зразка з умовним тросом одиничного діаметру при одиничному деформуванні. Так на рисунку 3 показано розподіл нормальних напружень  $X_x$   $z = \pm \frac{t}{2}$ . Відзначимо, що вони збігаються з розподілом в площині  $z=0$ .

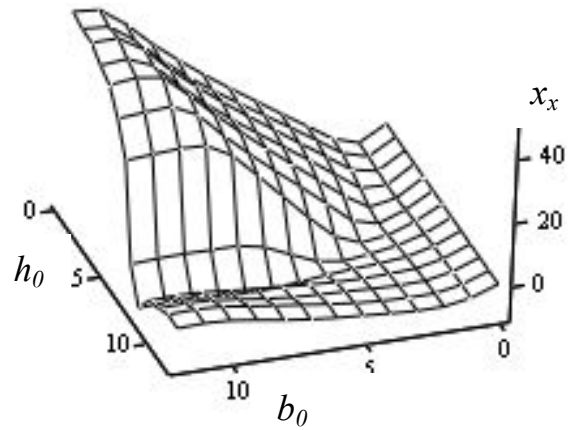


Рис. 3. Розподіл нормальних напружень в гумовій оболонці стрічки з безмежною кількістю тросів

Відносні координати  $h_0$  та  $b_0$ , в яких побудовано графік (рис. 3), визначаються за залежностями

$$h_0 = 10 \left( \frac{h-1,1d}{d} \right) \text{ та } b_0 = 10 \left( \frac{b-1,1d}{d} \right).$$

Відзначимо, що практично збігаються і розподіли дотичних напружень, що виникають в гумовій оболонці (рис.4)

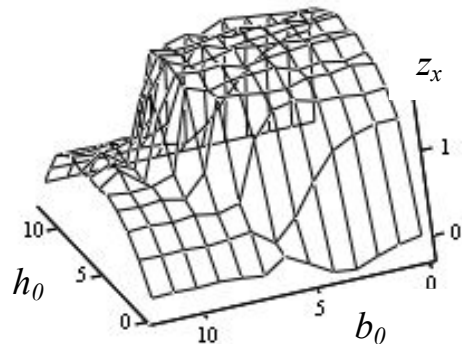


Рис. 4. Розподіл дотичних напружень в гумовій оболонці стрічки з безмежною кількістю тросів

Збігаються поміж собою нормальні переміщення точок в площинах  $z = \pm \frac{t}{2}$  та  $z=0$  (рис. 5)

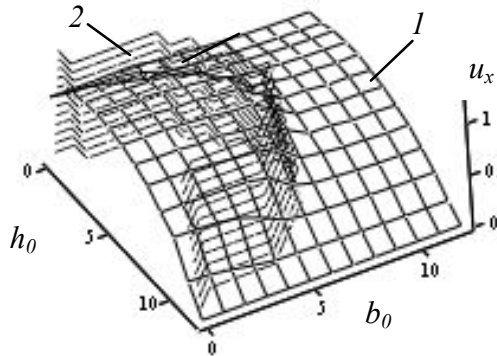


Рис. 5. Графіки нормальних переміщень точок гумової оболонки стрічки з безмежною кількістю тросів

На рис. 5 поверхня 1 відтворює переміщення гуми, поверхня 2 – контуру тросу. Показані поверхні показують переміщення поверхні гуми близькі реальним переміщенням тросів. Відзначимо, що розподіли переміщень в перерізах  $z = \pm \frac{t}{2}$  та  $z=0$  також збігаються. Наведені графічні результати дослідження НДС гуми стрічки вказують на допустимість визначення її напружено-деформованого стану в площині  $z=0$  та на відповідність отриманого рішення прийнятій розрахунковій моделі.

З графіків видно, що нормальні напруження, що виникають в гумі змінюються по ширині та суттєво відрізняються від нуля лише навпроти троса. Максимальних значень набувають при мінімальній відстані від поверхні тросу до поверхні гумової оболонки стрічки притиснутої до барабана. Разом з тим, характер розподілу напружень залежить і від геометричних параметрів стрічки.

При розрахунках міцності деталей машин конструктори користуються коефіцієнтом концентрації напружень, який дорівнює відношенню максимальних напружень до середніх. Дослідження показали, що основним чинником, що впливає на коефіцієнт концентрації напружень є товщина гумового прошарку поміж тросом та барабаном.

Вказана залежність має лінійний характер (рис. 6), вона визначена для розподілу напружень в площині  $z=0$ .

Відзначимо, що коефіцієнт концентрації напружень визначений для розподілу напружень в площині  $z = \pm \frac{t}{2}$  дещо вищий (до 10%). Водночас ці коефіцієнти отримані для площини в якій не усі граничні умови виконуються. Таким чином достовірними треба вважати коефіцієнти концентрації напружень, що визначення для розподілів напружень в площині  $z=0$ .

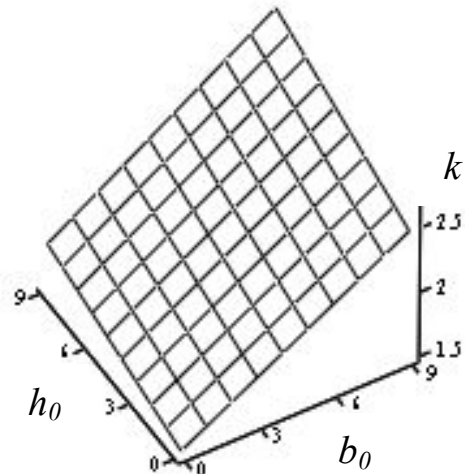


Рис. 6. Залежність коефіцієнта концентрації напружень від геометричних параметрів каната

### Висновки

Характери розподілу нормальних напружень в гумовій оболонці стрічки на поверхні зразка та в площині  $z=0$  близькі поміж собою, що свідчить про те що практично в усіх перерізах зразка НДС не суттєво змінюється. Результати отримані в будь-якому перерізі будуть близькі поміж собою, що відповідає умовам деформування зразка з тросом, що не деформується. Отримана залежність коефіцієнта концентрації напружень від параметрів канату при силевій взаємодії з барабаном дозволяє врахувати розподіл напружень в гумі при проектуванні конвеєрів чим підвищити безпеку експлуатації таких машин та підвищити термін експлуатації стрічок.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Большаков В. И., Вишняков В. И., Порубова Т. П., Лаврик Л. И. Оценка износа деталей безконусного загрузочного устройства // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії. Збірник наукових праць Інституту чорної металургії НАН України.* — 2005. — № 10. — С. 275—284.
2. Бельмас І. В., Колосов Д. Л., Бобильова І. Т. Врахування дотичних напружень при автоматичному конструюванні ступінчастого канату // *Стальные канаты. Сб. научных трудов.* — Одесса. — 2009. — № 7. — С. 147—152.
3. Білоус О. І., Колосов Д. Л. Напружений стан гумової оболонки стрічки на барабані конвеєра подачі шихти в доменну піч // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* — 2010. — № 4 (262). — С. 113—114.
4. Блохин С. Е., Колосов Д. Л., Колосов А. Л. Напряженно-деформированное состояние плоского резинотросового тягового органа на барабане // *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна.* — 2009. — № 30. — С. 88-91.