

УДК 621.876.212

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН СТРІЧКИ КОНВЕЄРА НА ДІЛЯНЦІ ЇЇ ПЕРЕВЕРТАННЯ

Бельмас І.В. докт. техн. наук, проф.,

Білоус О.І. докт. техн. наук доц., Танцура А.І. асистент,
Дніпродзержинський державний технічний університет

Напружено-деформований стан стрічки на ділянці перевертання розглянуто, як складений з двох станів. Деформування стрічки безмежної довжини у наслідок надання їй форми гвинтової лінії на ділянці обмеженої довжини за умови відсутності деформацій поперечних перерізів на краях вказаної ділянки. Деформуванням стрічки після зняття умови відсутності деформацій плоских перерізів кінців ділянки викривлення за гвинтовою лінією.

Gespannt - deformiert ist den Zustand des Bandes auf dem Grundstück des Drehens, wie gebildet mit zwei Zuständen untersucht. Das Deformieren des Bandes der grenzenlosen Länge wegen der Form der Schraubenlinie auf dem Abschnitt der beschränkten Länge. Dabei führten die Bedingung ein, dass die Deformationen der querlaufenden Schnitte auf den Rändern des Abschnittes fehlen. Das Deformieren des Bandes nach der Absage von der Beschränkung der Deformationen der flachen Schnitte.

Актуальність роботи. Деякі матеріали налипають на стрічку конвеєра. З нижньої гілки вони зсипаються. Прибирання просипу вимагає додаткових витрат. З метою упередження просипу застосовують перевертання нижньої гілки конвеєра [1]. Конвеєрна стрічка має композитну побудову. Форма надана стрічці на конвеєрі, її побудова суттєво впливають на розподіл сил поміж тяговими елементами – подовжніми нитками. Визначення напружено-деформованого стану (НДС) стрічки, що впливає на довговічність її експлуатації та розробка методики інженерного розрахунку цього стану, *актуальна задача.*

Сучасний стан питання. В роботі Полуніна Г.М., Гуленка Г.Н. [1] наведені результати експериментального визначення НДС стрічки. Дослідження проводили для декількох типів стрічок. За результатами експериментів довжину ділянки перевертання стрічки автори запропонували обирати пропорційно ширині стрічки.

Механічні властивості стрічок значно відрізняються. Так згідно даним [2] питома жорсткість тканинних прокладок конвеєрних стрічок лежить у межах 5-30 кН/мм. Це вказує на те, що напруження при однакових геометричних характеристиках ділянки перевертання для різних стрічок можуть суттєво відрізнятися. Відповідно отримані результати та рекомендації не можуть бути застосовані для усіх типів стрічок.

Постановка задачі. Ділянка перевертання стрічки фактично є ланкою стрічки з локальною зміною форми від плоскої до гвинтової та знов до плоскої. Механізм взаємодії тягових елементів (ниток) такий, як і у стрічці. Будемо вважати, що відстані між нитками в стрічці залишаються постійними. У разі такого характеру деформування ниток на ділянці перевертання стрічки набувають форми гвинтових ліній. Враховуючі різний характер деформованого стану стрічки, розділимо її на три ділянки, як показано на рисунку 1.

На ділянках I та III стрічка плоска. Їх будемо вважати нескінченними та навантаженими силами розтягу P . На ділянці II стрічка має форму гвинтової поверхні – лінійчатого прямого гелікоїда. Під дією прикладених сил стрічка знаходиться в рівновазі.

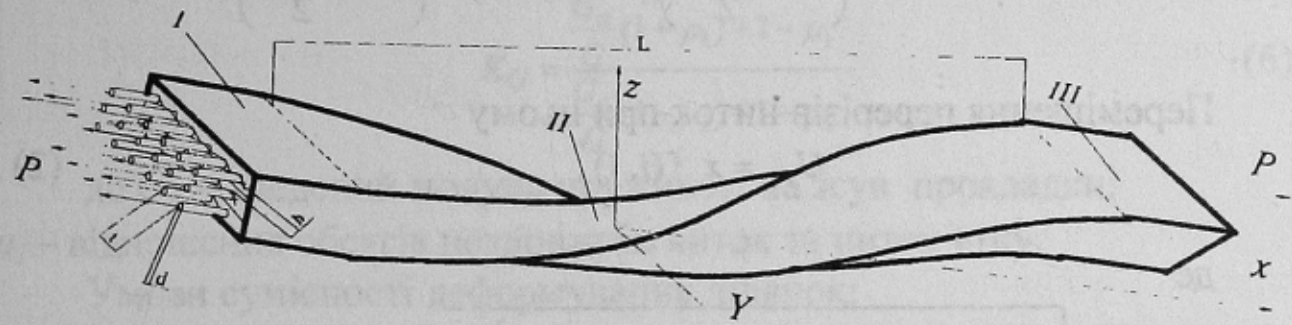


Рис. 1 – Конвеєрна стрічка з ділянкою надання їй форми гвинтової поверхні

Нитки утку, обмежують зміщення армованих елементів стрічки в напрямку, ортогональному поздовжнім ниткам. Ці деформації враховувати не будемо. Жорсткість тканинних прокладок на згин незначна. Нею знехтуємо. На підставі висновків роботи [3] знехтуємо крайовими ефектами в м'якому шарові – в гумовій матриці. Будемо вважати, що стрічка має M прокладок. Кожна з прокладок має N ниток. На криволінійній ділянці деформації ниток зумовлені гвинтовою формою стрічки та відносним зсувом ниток. Як і в роботі [4], стрічку уявимо як систему гнучких розтяжних

паралельно розташованих з постійним кроком ниток, запресованих у пружне анізотропне середовище. Прийmemo і модель запропоновану у цій роботі але додатково врахуємо, що кожна нитка у zdeформованому стані має форму гвинтової лінії.

Мета роботи полягає у встановленні залежності напруженого стану стрічки від довжини ділянки перевертання та механічних характеристик гумотканинної конвеєрної стрічки.

Основний зміст роботи.

Деформований стан стрічки розглянемо як складений з двох станів. Першим будемо вважати деформування стрічки у наслідок надання їй форми гвинтової лінії на другій ділянці за умови відсутності деформацій перерізів її кінців. Другим станом будемо вважати стан, пов'язаний з деформуванням стрічки після зняття умови відсутності деформацій плоских перерізів кінців другої ділянки.

Відповідно до прийнятої на рисунку 1 системи координат координата кожної i, j – тої нитки у наслідок набуття відрізком гвинтової форми (перший деформований стан) має вигляд:

$$z_i = \left(i - \frac{M+1}{2} \right) (d+h), \quad y_j = \left(j - \frac{N+1}{2} \right) (d+t). \quad (1)$$

Переміщення перерізів ниток при цьому

$$U_{i,j} = x f(i, j), \quad (2)$$

де

$$f(i, j) = \sqrt{\left\{ [I(i)(d+h)]^2 + [J(j)(d+t)]^2 \right\} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1} - 1; \quad (3)$$

$$I(i) = i - \frac{M+1}{2}; \quad J(j) = j - \frac{N+1}{2}.$$

Зусилля натягнення ниток стрічки, за умови рівності нулю сумарного натягнення усіх ниток

$$P_{i,j} = E F f(i, j) \left(1 - \frac{1}{M N} \right). \quad (4)$$

Другий деформований стан зумовлений зняттям обмежень на деформації поперечних перерізів. Він пов'язаний зі зсувом ниток вздовж самих себе. Деформування відбувається до настання рівноваги. Умови рівноваги ниток в стрічці [4]:

$$E F \frac{d^2 u_{i,j}}{dx^2} = - \begin{cases} \wp_{i,j} - k_2(u_{i+1,j} - u_{i,j}); & (i=1); \\ \wp_{i,j}; & (1 < i < M); \\ \wp_{i,j} - k_2(u_{i-1,j} - u_{i,j}); & (i=M), \end{cases} \quad (5)$$

де
$$\wp_{i,j} = \begin{cases} \omega_{i,j} - k_1(u_{i,j+1} - u_{i,j}); & (j=1); \\ \omega_{i,j}; & (1 < j < N); \\ \omega_{i,j} - k_1(u_{i,j-1} - u_{i,j}); & (j=N), \end{cases}$$

$$\omega_{i,j} = k_2(u_{i-1,j} - 2u_{i,j} + u_{i+1,j}) + k_1(u_{i,j-1} - 2u_{i,j} + u_{i,j+1});$$

$j = 1, 2, \dots, N$; $i = 1, 2, \dots, M$; u – переміщення перерізу нитки

вздовж вісі x ; $k_2 = \frac{Gd}{h}$; $k_1 = \frac{Gd}{t} K_G$ – коефіцієнти, що враховують жорсткість матриці на зсув; d – діаметр нитки; G – модуль зсуву для гуми; h, t – відстані поміж прокладками та нитками в прокладках; K_G – коефіцієнт жорсткості на зсув матриці між поздовжніми нитками в прокладці; E – зведений модуль пружності нитки на розтяг; F – площа поперечного перерізу нитки.

Згідно роботи [5]

$$K_G = \frac{\frac{G_a}{G}(1 + \mu_1) + 1 - \mu_1}{\frac{G_a}{G}(1 - \mu_1) + 1 + \mu_1}, \quad (6)$$

де G_a – зведений модуль пружності на зсув прокладки;

μ_1 – відношення обсягів поздовжніх ниток та ниток утку.

Умови сумісності деформування ділянок:

$$\tau_{zi,j} \left(x = \pm \frac{L}{2} \right) = \tau_{zi,j} \left(x = \pm \frac{L}{2} \pm \varepsilon \right); \quad (7)$$

$$\tau_{yi,j} \left(x = \pm \frac{L}{2} \right) = \tau_{yi,j} \left(x = \pm \frac{L}{2} \pm \varepsilon \right); \quad \varepsilon \rightarrow 0;$$

$$p_{i,j} \left(x = \pm \frac{L}{2} \right) = p_{i,j} \left(x = \pm \frac{L}{2} \pm \varepsilon \right); \quad \varepsilon \rightarrow 0, \quad (8)$$

де $\tau_{zi,j}, \tau_{yi,j}$ – дотичні напруження, що діють по поверхні ij - тої нитки з боку $i+1$ та $j+1$ ниток, відповідно; $p_{i,j}$ – зусилля в ij – тій нитці.

Граничні умови

$$p_{i,j}(x = \pm \infty) = \frac{P}{NM}, \quad u_{i,j}(x = \pm \infty) = u_{i\pm 1, j\pm 1}(x = \pm \infty). \quad (9)$$

Номера ниток будемо розглядати як дискретну координату. Розв'яжемо систему однорідних рівнянь (1) методом Фур'є:

$$u_{i,j} = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N A_{m n} e^{\lambda_{m(n-1)M} x} \alpha_{m n}, \quad (10)$$

де

$$\lambda_{m(n-1)M} = \sqrt{\frac{2G d}{E F}} \sqrt{\chi_{mn}};$$

$$\chi_{mn} = \begin{cases} \frac{1 - \cos \frac{\pi m}{M}}{(h+d)} + \frac{K_G \left(1 - \cos \frac{\pi n}{N}\right)}{(t+d)}; & 1 \leq m < M, 1 \leq n < N; \\ \frac{K_G}{(t+d)} \left(1 - \cos \frac{\pi n}{N}\right); & m = M, n \neq N; \\ \frac{1}{(h+d)} \left(1 - \cos \frac{\pi m}{M}\right); & m \neq M, n = N; \\ 0; & m = M, n = N, \end{cases}$$

$\alpha_{m n}$ - коефіцієнти Фур'є; $A_{m n}$ - невідомі сталі.

Переміщення ниток для першого та другого стану

$$u_{1j} = \frac{P x}{M N E F} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A_{m n} \frac{sh(\lambda_{m n} x) \alpha_{m n}}{\exp(\lambda_{m n} L/2)} + \left[f(i, j) \left(1 - \frac{1}{M N}\right) + A_{M, N} \right] x, \quad (11)$$

$$u_{2j} = \frac{P x}{M N E F} + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A_{m n} \frac{sh(\lambda_{m n} L/2)}{\exp(\lambda_{m n} |x|)} j + A_{M, N} x. \quad (12)$$

Прийнята форма розв'язку забезпечує виконання умови (3). З (11) та (12) зусилля в прокладках двох суміжних ділянок

$$P_{1j} = \frac{P}{M N} + E F \times$$

$$\times \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M A_{m n} \lambda_{m n} \frac{ch(\lambda_{m n} x) \alpha_{m n}}{\exp(\lambda_{m n} L/2)} + f_{i j} \left(1 - \frac{1}{M N}\right) + A_{M N} \right\}, \quad (13)$$

$$P_{2j} = \frac{P}{M N} + E F \left\{ \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M -\lambda_{m n} A_{m n} \frac{sh(\lambda_{m n} L/2) \alpha_{m n}}{\exp(\lambda_{m n} |x|)} + A_{M N} \right\}. \quad (14)$$

З умови сумісності деформування двох ділянок

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M \lambda_{mn} A_{mn} \left[\frac{\operatorname{sh}(\lambda_{mn} L/2)}{\exp(\lambda_{mn} L/2)} + \frac{\operatorname{ch}(\lambda_{mn} L/2)}{\exp(\lambda_{mn} L/2)} \right] \alpha_{mn} +$$

$$+ 2 A_{MN} = f_{ij} \left(1 - \frac{1}{MN} \right). \quad (15)$$

Розв'язання системи (15) дозволяє знайти невідомі сталі інтегрування. Лінійність поставленої задачі дозволяє розглядати незалежно деформування зусиллями розтягу та наданням стрічці гвинтової форми.

Розповсюдивши прийняті припущення на тягові елементи гумотросових стрічок, визначали НДС стан гумотросових стрічок. На рисунку 2 показано розподіл зусиль поміж тросами гумотросової стрічки типу РТЛ-3150 у разі відсутності зовнішнього навантаження. На рисунку крива 1 – відповідає зусиллю у найближчому до осі стрічки тросові, крива 2 – у найвіддаленішому, крива 3 – відповідає відносному подовженню найвіддаленішій від осі стрічки нитки за відсутності деформацій перерізів стрічки.

$$\varepsilon_{\max} = \left\{ \sqrt{\left[\frac{M-1}{2} (d+h) \right]^2 \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right\} \left(1 - \frac{1}{M} \right). \quad (16)$$

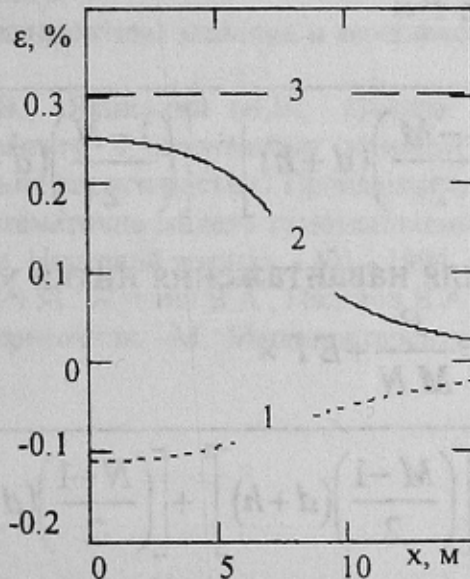


Рис. 2 – Зусилля, в тросах на ділянці перевертання стрічки

Відповідно до рисунка 2 в стрічці є тягові елементи, що теоретично працюють на стискання. Виникнення умов стискання тягових елементів стрічки неприпустимо оскільки може сприяти виникненню умов втрати сталої форми конвеєрної стрічки на ділянці перевертання. Для упередження втрати сталої форми стрічки зусилля

повинно перевищувати величину сил стискання.

$$\frac{P}{N} \geq E F \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{1-N}{2} \right) (d+t) \right]^2 \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right\} \left(1 - \frac{1}{N} \right). \quad (17)$$

Максимальна відносна деформація тягових елементів стрічки (крива 2) несуттєво відрізняється від відповідної деформації розрахованої за умови прийняття гіпотези плоских перерізів (крива 3). Це дозволяє визначати максимальне навантаження тягового елемента стрічки на ділянці перевертання залежністю

$$P_{\max} = \frac{P}{N} + E F \left\{ \sqrt{\left[\frac{N-1}{2} (d+t) \right]^2 \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right\} \left(1 - \frac{1}{N} \right). \quad (18)$$

З наведеного визначення довжини ділянки перевертання слід вести з урахуванням уникнення стискання тягових елементів шляхом виконання умови (17) та з умови міцності з виразу (18).

Виконані дослідження показують, що для гумотканиної стрічки значення максимальних зусиль, що сприймають нитки стрічки збігаються зі значеннями зусиль знайдених за умови відсутності деформацій перерізів стрічки. Таким чином зусилля натягнення гумотканиної стрічки слід визначати за залежністю

$$\frac{P}{M N} \geq E F \times \left\{ \sqrt{\left[\left[\left(\frac{1-M}{2} \right) (d+h) \right]^2 + \left[\left(\frac{1-N}{2} \right) (d+t) \right]^2 \right] \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right\}. \quad (19)$$

Максимальне зусилля навантаження нитки у стрічці

$$P_{\max} = \frac{P}{M N} + E F \times \left\{ \sqrt{\left[\left[\left(\frac{M-1}{2} \right) (d+h) \right]^2 + \left[\left(\frac{N-1}{2} \right) (d+t) \right]^2 \right] \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right\}. \quad (20)$$

В стрічці значна кількість ниток. Виразимо кількість ниток в стрічці через її ширину. При цьому знехтуємо одиницею у порівнянні з N . У результаті залежності (19) та (20) набудуть вигляду

$$P \geq \frac{E F M B}{d+t} \left\{ \sqrt{\left[\left[\left(\frac{1-M}{2} \right) (d+h) \right]^2 + B^2 \right] \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1} - 1 \right\} \quad (21)$$

$$P_{\max} = \frac{P(d+t)}{MB} + EF \left\{ \sqrt{\left[\left(\frac{M-1}{2} \right) (d+h) \right]^2 + B^2} \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 + 1 - 1 \right\}. (22)$$

Висновки.

1. Відомі дослідження не дозволяють визначити НДС конвеєрної стрічки довільного типу на ділянці перевертання.
2. Модель стрічки розроблена шляхом вдосконалення відомої моделі взаємодії тягових елементів стрічки.
3. Виконані дослідження показали, що в гумотканинній стрічці екстремальні значення зусиль у тягових елементах можуть бути визначені з використанням гіпотези плоских перерізів. Для гумотросових стрічок прийняття гіпотези плоских перерізів призведе до визначення зусиль з незначним запасом (до 20%).
4. Отримані результати дозволяють розробити методіку розрахунку ділянки перевертання конвеєрної стрічки.
5. Достовірність отриманих результатів підтверджується застосуванням апробованої математичної моделі та аналітичних методів її розв'язання.

Список джерел:

1. Полуниин В.Т., Гуленко Г.Н. Эксплуатация мощных конвейеров. - М. Машиностроение. - 1986, 324 с.
2. Дьяков Ф.Д. Транспортные машины и комплексы для открытых разработок. - М.: Недра, 1986. 344 с.
3. Коханенко Ю.В., Ясінський В.В., Царипа І.М. Дослідження залежності протяжності крайового ефекту в шаруватому композиті з трансверсально-ізотропним наповнювачем від механічних характеристик. / Проблемы прочности, 2001, №4, С. 127-137.
4. Танцура Г.І. Математична модель гумотканинної стрічки та побудова її рішення. Математичне моделювання. Науковий журнал. - №1.- 1994. - С. 69-72.
5. Тарнапольский Ю.М., Жуглин В.А., Поляков В.А. Пространственно армированные композитные материалы: Справочник. -М.: Машиностроение, 1987. - 224 с.