

УДК 621.86

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ЗВИТИХ ВИРОБІВ ВАНТАЖОПІДІЙМАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

І.Г. Міренський, проф., д.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Отримано теоретичні залежності, що дозволили оцінити напружено-деформований стан елементів звитого виробу в процесі звивання. Впровадження результатів досліджень сприяє підвищенню ефективності роботи вантажопідіймальних засобів.

Ключові слова: напружено-деформований стан, попередня деформація, елемент звитого виробу, довговічність, преформуючий пристрій, згинальний момент, напруження.

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВИТЫХ ИЗДЕЛИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ СРЕДСТВ

И.Г. Миренский, проф., д.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Получены теоретические зависимости, позволяющие оценить напряженно-деформированное состояние элементов витого изделия в процессе свивки. Внедрение результатов исследований способствует повышению эффективности работы грузоподъемных средств.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, предварительная деформация, элемент витого изделия, долговечность, преформирующее устройство, изгибающий момент, напряжение.

EVALUATING THE STRAIN-STRESS STATE OF TWINED ITEMS FOR LOAD-LIFTING MACHINES

I. Mirenskiy, Prof., Dr., Eng. Sc.
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Theoretical dependencies for evaluating the strain-stress state of elements of twined items during twisting have been obtained. Implementation of the research findings enables higher efficiency of load-lifting machines.

Key words: strain-stress state, pre-strain, twined element, durability, preforming device, bending moment, strain.

Вступ

Звитий виріб різних видів (сталевий канат, металокорд) для більшості конструкцій вантажопідіймальних і транспортних машин є невід'ємною частиною, найчастіше його використовують як гнучкий елемент. Для підйому або горизонтального переміщення вантажів найбільш розповсюдженими стали сталеві канати, здатні нести високі розтягу-

вальні навантаження, підіймати вантаж із великою швидкістю. Їх виготовляють зі сталевого дроту, отриманого багаторазовим холодним волочінням із проміжними термічною та хімічною обробкою. Металокорд із латуньованого дроту діаметром 0,15–0,265 мм використовують як армуючий елемент гумотехнічних виробів (пневматичних коліс, стрічок конвеєрів).

У процесі експлуатації зазначених виробів на дріт справляє вплив цілий комплекс додаткових періодично діючих напружень: а) нормальні, викликані кінцевим навантаженням; б) згинальні, що виникають при переході каната через напрямні шківів та навівання на барабан; в) контактні, що виникають у місцях торкання зі шківом чи барабаном, а також дротів між собою; г) крутильні, викликані звиттям виробу; д) динамічні, що виникають у процесі змінення швидкості руху каната. Крім зазначених вище видів, у процесі звивання звитого виробу на дріт діють основні технологічні напруження, внаслідок чого він зазнає певної деформації у крайніх волокнах. Робота виробу та пов'язаних з ним механізмів значною мірою залежить від правильності його конструктивного використання з урахуванням умов експлуатації та точності розрахунку. Таким чином, задача, що розглядається, є актуальною та своєчасною.

Аналіз публікацій

На практиці в підйомно-транспортному машинобудуванні застосовують звиті вироби, що не розкручуються. Згідно з технологією виготовлення зазначених канатів дроти та пасми підлягають попередній деформації за допомогою преформаторів, які встановлюються в канатних машинах перед обтискними плашками, у результаті чого елементи звитих виробів при експлуатації не змінюють свого положення.

До переваг вказаних канатів слід віднести: гнучкість (відсутність внутрішніх напружень в елементах виробу); менша схильність до обертання навколо своєї осі при навіванні на барабан і огинанні блоків; великий опір втолюваності; рівномірний розподіл зусиль розтягу між пасмами та дротами; велику довговічність; при обриві дріт зберігає своє положення в канаті, що полегшує умови обслуговування його та зменшує пошкодження блоків і барабанів.

Вперше Нестеровим П.П. [1] розроблені теоретичні основи процесу попередньої деформації дротів і на базі їх пружно-пластичних характеристик запропоновано аналітичну залежність для визначення радіуса кривизни

$\rho_{\text{деф}}$

$$\rho_{\text{деф}} = \frac{\pi \cdot \rho}{\pi + \frac{16}{3} \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \frac{\sigma_s}{E}} \cdot \frac{\delta}{2}, \quad (1)$$

де ρ – радіус кривизни дроту, який знаходиться в певному концентричному ряду пасма, мм; E – модуль пружності дроту, МПа; λ – параметр зміцнення, який визначається згідно з виразом $1 - \frac{E_1}{E}$; E_1 – модуль зміцнення вихідного матеріалу, МПа; σ_s – границя текучості, МПа.

У пізніших дослідженнях [2] було відзначено, що застосування залежності (1) для розрахунку попереднього радіуса згину дроту призводить до завищених значень, які не дозволяють отримати канат, що повністю не розкручується. До основних недоліків запропонованого виразу слід віднести відсутність врахування впливу поздовжньої розтягувальної сили на спіральну деформований дріт, технологічних схем виготовлення на механічні характеристики вихідного матеріалу, а також параметрів настроювання преформуючого пристрою.

Мета і постановка задачі

Метою роботи є пошук шляхів вдосконалення теоретичних основ конструювання гнучких виробів на підставі дослідження напружено-деформованого стану їх елементів у процесі звивання. Досягнення поставленої мети базується на отриманні з урахуванням ряду технологічних факторів аналітичних залежностей для розрахунку параметрів попередньої деформації елементів металокорду.

Оцінка напружено-деформованого стану елементів звитого виробу

Огинання деформуючого ролика у процесі виготовлення металокорду із застосуванням преформуючого пристрою на опорах кочення викликає у дротах напруги згину. Крім того, на ділянці між технологічним пристроєм для преформації його елементів і плашками звивання дріт випробовує розтягувальні зусилля, під дією яких змінюється геометрія його гвинтової осі, яку було отримано в результаті деформації. Величина їх залежить від параметрів настроювання, умов тертя у преформаторі, а також ряду технологічних факторів.

Таким чином, при розгляді схеми виготовлення, визначення напружено-деформованого стану дротів зводиться до розгляду сумісної дії згину та розтягу. Враховуючи, що поздовжня сила за величиною є незначною та викликає незначну напругу розтягу в порівнянні зі згином, то при розв'язанні цієї задачі з невеликим наближенням можна використати гіпотезу плоских перерізів.

Згідно з теоремою О.О. Ілюшина про розвантаження [3], для нашого випадку залишкову кривизну $\rho_{\text{зал}}$ наведемо у вигляді

$$\rho_{\text{зал}} = \frac{\rho \cdot E \cdot J_x}{E \cdot J_x - M \cdot \rho}, \quad (2)$$

де M – згинальний момент у перерізі дроту, обумовлений попередньою деформацією, Н·мм; ρ – радіус кривизни зігнутої осі дроту при навантаженні, який беремо $\rho = r_p + \frac{\delta}{2}$, мм; r_p – радіус деформуючого ролика, мм.

Згинальний момент M у перерізі дроту (рис. 1) буде дорівнювати

$$M = \int_F \sigma \cdot y \cdot dF; \quad (3)$$

$$dF = x \cdot dy, \quad (4)$$

де x – ширина поперечного перерізу на відстані y від нейтральної осі Ox . Зазначені координати визначаються за такими виразами:

$$x = \frac{\delta}{2} \cdot \cos \varphi \quad \text{і} \quad y = \frac{\delta}{2} \cdot \sin \varphi.$$

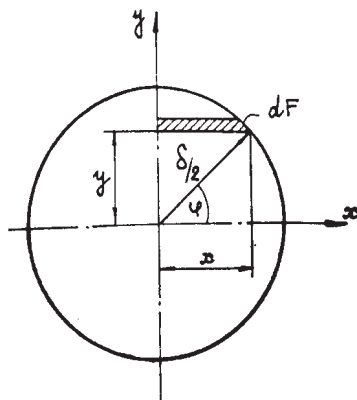


Рис. 1. Поперечний переріз дроту

Замінивши границі інтегрування, перетворимо вираз (3) до вигляду

$$M = 4 \int_0^{\pi/2} \sigma(\varphi) \cdot x \cdot y \cdot dy. \quad (5)$$

У розглянутому випадку в дроті має місце одночасно пружна (у граничних межах $0 \dots \varepsilon_s$) і пластична (у границях $\varepsilon_s \dots \varepsilon_{\text{max}}$) деформації. Для спрощення розв'язання поставленої задачі використаємо схематизовану діаграму розтягу з лінійним зміцненням без площадки текучості. Тоді функціональну залежність $\sigma = f(\varepsilon)$ можна навести у вигляді

$$\sigma(\varepsilon) = E \cdot \varepsilon_0^{\varepsilon_s} + \left\{ \sigma_s + E_1 (\varepsilon - \varepsilon_s) \right\}_{\varepsilon_s}^{\varepsilon_{\text{max}}} + \frac{4PK_{\text{п}}}{\pi \delta^2} \Big|_0^{\varepsilon_{\text{max}}}, \quad (6)$$

де $K_{\text{п}}$ – поправковий коефіцієнт, що враховує амплітуду зміни поздовжньої сили у процесі звивання витого виробу.

Вважаючи, що поперечний переріз елемента металокоорду залишається плоским, лінійну деформацію в точках, найбільш віддалених на відстані y від нейтральної осі, визначаємо

$$\text{за формулою } \varepsilon = \frac{y}{\rho}.$$

У полярних координатах вираз (6) запишемо у вигляді

$$\sigma(\varphi) = E \cdot \frac{\delta}{2\rho} \cdot \sin \varphi \Big|_0^{\varphi_s} + \left\{ \sigma_s + E_1 \left(\frac{\delta}{2\rho} \cdot \sin \varphi - \varepsilon_s \right) \right\}_{\varphi_s}^{\pi/2} + \frac{4P \cdot K_{\text{п}}}{\pi \cdot \delta^2} \Big|_0^{\pi/2}. \quad (7)$$

Після перетворень отримано аналітичну залежність для визначення згинального моменту при розгляді круглого перерізу дроту, що сприяє оцінці напружено-деформованого стану елементів звитого виробу у процесі виготовлення

$$M = \frac{J_x \cdot E}{3\pi \cdot \rho} \left[3\pi(1-\lambda) + \frac{16\lambda \cdot \sigma_s \cdot \rho}{E \cdot \delta} \left\{ 2 - \left(\frac{2\sigma_s \cdot \rho}{E \cdot \delta} \right)^2 \right\} + \frac{128\sigma_s \cdot P \cdot K_{\text{п}} \cdot \rho}{\pi E \cdot \delta^6} \right]. \quad (8)$$

З урахуванням приведеної вище формули (2) запропоновано аналітичну залежність, що враховує вплив діаметра деформуючого ролика d_p , поздовжньої сили P і ряду пружно-пластичних характеристик вихідного матеріалу на $d_{\text{зал}}$ дроту

$$d_{\text{зал}} = \left\{ \frac{\lambda}{3\pi \cdot E \cdot \delta} \left[\frac{3\pi \cdot E \cdot \delta}{d_p + \delta} - 8\sigma_s \left\{ 2 - \left[\frac{\sigma_s}{E \cdot \delta} (d_p + \delta) \right]^2 \right\} - \frac{64K_{\text{п}} \cdot P}{\pi \cdot \lambda \cdot \delta^2} \right] \right\}^{-1} \quad (9)$$

У процесі попередньої деформації дротів необхідно задавати умови отримання розмірів залишкової спіралі, яка б відповідала геометричним параметрам звивання елементів гнучкого виробу, тобто можна записати

$$d_{\text{зал}} = \frac{d_{\text{сер}}}{\sin^2 \alpha_{\text{зв}}}, \quad (10)$$

де $d_{\text{сер}}$ – середній діаметр зовнішнього звивання виробу, мм; $\alpha_{\text{зв}}$ – кут звивання, який згідно з [1] дорівнює

$$\alpha_{\text{зв}} = \arctg \frac{\pi d_{\text{сер}}}{h} = \arcsin \frac{\pi d_{\text{сер}}}{h \sqrt{1 + \left(\frac{\pi d_{\text{сер}}}{h} \right)^2}}, \quad (11)$$

h – крок звивання дроту в металокорд, мм.

Враховуючи залежності (9)–(11), отримано вираз для визначення коефіцієнта $K_{\text{п}}$ з урахуванням геометричних параметрів звивання звитого виробу

$$K_{\text{п}} = \frac{\lambda}{C} \left\{ \frac{3\pi}{16B} \left[1 - \frac{B \cdot \delta}{\lambda \cdot d_{\text{сер}} \left(\frac{h^2}{\pi^2 d_{\text{сер}}^2} + 1 \right)} \right] - A \left(1 - \frac{A^2 B^2}{2} \right) \right\}, \quad (12)$$

$$\text{де } A = \frac{\sigma_s}{E}; \quad B = \frac{d_p}{\delta} + 1; \quad C = \frac{4P}{\pi \cdot E \cdot \delta^2}.$$

Технологічною картою виготовлення металокорду типу 9Л15/27 передбачено крок звивання, який дорівнює 9,5–11,0 мм. У зв'язку з цим на прикладі зазначеного типу метало-

корду та використовуючи вираз (12), виконали розрахунок $K_{\text{п}}$ для різних значень кроків звивання звитого виробу в діапазоні змінення поздовжньої сили $P = 18\text{--}23$ Н за фіксованого діаметра деформуючого ролика ($d_p = 6$ мм) преформуючого пристрою. Аналіз отриманих результатів показав, що виготовлення звитого виробу зі збільшеним кроком звивання та зменшенням величини поздовжньої сили в даному діапазоні веде до підвищення значення поправочного коефіцієнта. Таким чином, виконані дослідження напружено-деформованого стану елементів звитого виробу у процесі звивання дозволили отримати аналітичні залежності, які сприяють вдосконаленню наукових основ конструювання та виготовлення канатів різних видів, зокрема процесу попередньої преформації дротів металокорду.

Висновки

Запропоновано новий підхід до оцінки напружено-деформованого стану елементів звитого виробу, зокрема металокорду, у процесі його виготовлення. Отримано аналітичну залежність визначення діаметра залишкової кривизни дроту з урахуванням поздовжньої сили, типорозміру деформуючого ролика преформатора та ряду пружно-пластичних властивостей вихідного матеріалу. Впровадження результатів виконаних досліджень сприяє вдосконаленню теорії процесу попередньої преформації елементів звитих виробів і технологічного процесу виготовлення, підвищенню якісних показників сталевих канатів і довговічності гумотехнічних виробів вантажопідіймальних і транспортних машин.

Література

1. Нестеров П.П. Основы конструирования шахтных подъемных канатов / П.П. Нестеров. – М.–Л.: Углетехиздат, 1959. – 212 с.
2. Сергеев С.Т. Стальные канаты / С.Т. Сергеев. – К.: Техніка, 1984. – 328 с.
3. Малинин А.А. Прикладная теория пластичности и ползучести / А.А. Малинин. – М.: Машиностроение, 1982. – 400 с.

Рецензент: А.А. Тропіна, професор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 12 травня 2014 р.