

УДК 677. 72

І.Г. Міренський, д.т.н., проф.

Харківська національна академія міського господарства

### ПАРАМЕТРИ НАСТРОЮВАННЯ ДВОДИСКОВОГО ПРЕФОРМАТОРА НА ОПОРАХ КОЧЕННЯ

У статті наведено результати досліджень напружено-деформованого стану елементів скрученого виробу в процесі звивання. Запропоновано раціональні параметри настроювання преформуючого малогабаритного пристрою на опорах кочення, які дозволяють отримати пряmolінійний металокорд з мінімальною залишковою крутністю на рівні світових стандартів.

**Вступ.** Отриманню щільного виробу сприяє застосування попередньої деформації його елементів. Уперше П.П. Нестеровим розроблено теоретичні основи процесу попередньої деформації дротів і на базі їх пружно-пластичних характеристик запропоновано аналітичну залежність для визначення радіуса кривизни  $\rho_{\text{деф}}$ :

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

де  $\rho$  – радіус кривизни дротів, що знаходяться у певному концентричному ряді пасми, мм;  $E$  – модуль пружності дроту, МПа;  $\lambda$  – параметр зміцнення, який визначається згідно з виразом  $1-E1/E$ ;  $E1$  – модуль зміцнення вихідного матеріалу, МПа;  $\sigma_s$  – межа текучості, МПа.

**Аналіз літературних джерел.** У більш пізніших дослідженнях [1] було зазначено, що застосування виразу (1) для розрахунку попереднього радіуса згину призводить до завищених значень, які не дають можливості отримати канат, який повністю не розкручується. До основних недоліків запропонованої залежності слід віднести відсутність урахування впливу поздовжньої розтягуючої сили на спіраль-деформований дріт, технологічних параметрів виготовлення на механічні характеристики вихідного матеріалу, а також параметрів настроювання преформуючого пристрою.

**Основна частина.** Існуюча технологічна схема виготовлення металокорду із застосуванням запропонованої конструкції преформатора на опорах кочення при огинанні деформуючого ролика викликає у дротах напруження згину. Крім того, на ділянці між технологічним пристроєм для преформації його елементів та звивальними пласками дріт зазнає розтягуючі зусилля, під дією яких змінюється геометрія його гвинтової осі, отриманої у результаті деформації. Величина розтягуючого зусилля залежить від параметрів настроювання, умов тертя в преформуючому пристрої, а також інших технологічних факторів. Таким чином, при розгляданні схеми виготовлення задача визначення напружено-деформованого стану дротів зводиться до розглядання сумісної дії згину та розтягу. Враховуючи, що поздовжня сила за величиною невелика і викликає незначні напруження розтягу, порівняно із згинаючими, то при вирішенні даної задачі з невеликим наближенням можливо використати гіпотезу плоских перерізів.

Для нашого випадку радіус залишкової кривизни  $\rho_{\text{зал}}$  запишемо у вигляді:

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

де  $M$  – згинаючий момент у перерізі дроту, обумовлений попередньою деформацією, Н мм;  $\rho$  – радіус кривизни зігнутої осі дроту при навантаженні, який дорівнює  $r_p + \delta/2$ , мм;  $r_p$  – радіус деформуючого ролика, мм.

Згинаючий момент  $M$  у перерізі дроту дорівнює:

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

де  $dF = xdy$ , (4)

$x$  – ширина поперечного перерізу на відстані від нейтральної осі  $Ox$ .

При цьому

$$x = \frac{\delta}{2} \cos \varphi; \quad (5)$$

$$y = \frac{\delta}{2} \sin \varphi. \quad (6)$$

Використовуючи співвідношення (4) та замінивши межі інтегрування, перетворимо вираз (3) до виду:

$$M = 4 \int_0^{\pi/2} \sigma(\varphi) x y d\varphi. \quad (7)$$

У розглядуваному випадку у дроті має місце одночасно пружна (у граничних межах  $0 \dots \epsilon_s$ ) і пластична (у межах  $\epsilon_s \dots \epsilon_{\max}$ ) деформації. Для спрощення розв'язання поставленої задачі використовуємо діаграму з лінійним зміцненням без майданчика текучості. Припустивши, що поперечний переріз елемента металокорду залишається плоским, лінійну деформацію в точках, найбільш віддалених на відстані у від нейтральної осі, визначаємо за [2]:

$$\epsilon = \frac{y}{\rho}. \quad (8)$$

Після багатьох перетворень отримано залежність для визначення згинаючого моменту при розгляданні круглого перерізу дроту:

$$M = \frac{EI_x}{3\pi\rho} \left[ 3\pi(1-\lambda) + \frac{16\lambda\sigma_s\rho}{E\delta} \left\{ 2 - \left( \frac{2\sigma_s\rho}{E\delta} \right)^2 \right\} + \frac{128PK_n\rho}{\pi E\delta^3} \right], \quad (9)$$

де  $K_n$  – поправочний коефіцієнт, що враховує амплітуду змінення поздовжньої сили в процесі звивання скрученого виробу.

Приймаючи до уваги  $\rho = r_p + \delta/2$ , перетворимо рівняння (2) з урахуванням наведеного вище виразу. У результаті цього отримана залежність, що враховує вплив діаметра деформуючого ролика  $d_p$ , поздовжньої сили  $P$  та пружно-пластичних характеристик на  $d_{\text{зал. дроту}}$ :

$$d_{\text{зал. дроту}} = \left\{ \frac{\lambda}{3\pi E\delta} \left[ \frac{3\pi E\delta}{d_p + \delta} - 8\sigma_s \left\{ 2 - \left[ \frac{\sigma_s}{E\delta} (d_p + \delta) \right]^2 \right\} - \frac{64K_n P}{\pi\lambda\delta^2} \right] \right\}^{-1}. \quad (10)$$

У процесі попередньої деформації дротів потрібно отримувати розміри залишкової спіралі, яка відповідала б геометричним параметрам звивання елементів у металокорд, тобто можна записати:

$$d_{\text{зал. дроту}} = \frac{d_{\text{сеп.}}}{\sin^2 \alpha_{\text{зв.}}}, \quad (11)$$

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

$$\alpha_{\text{зв.}} = \arctg \frac{\pi d_{\text{сеп.}}}{h} = \arcsin \frac{\pi d_{\text{сеп.}}}{h \sqrt{1 + \left( \frac{\pi d_{\text{сеп.}}}{h} \right)^2}}, \quad (12)$$

де  $h$  – крок звивання дротів у металокорд, мм.

Поправочний коефіцієнт  $K$  з урахуванням геометричних параметрів звивання виробу дорівнює:

$$K_n = \frac{\lambda}{C} \left\{ \frac{3\pi}{16B} \left[ 1 - \frac{B\delta}{h^2} \right] - A \left( 1 - \frac{A^2 B^2}{2} \right) \right\}, \quad (13)$$

$$\lambda d_{\text{сеп.}} \left( \frac{1}{\pi^2 d_{\text{сеп.}}^2} + 1 \right)$$

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

Аналіз отриманої залежності у діапазоні змінення кроку звивання 9,5...11,0 мм (для металокорду типу 9Л15/27) та поздовжньої сили  $P = 18 \dots 23$  Н при фіксованому розмірі деформуючого ролика ( $d_p = 6$  мм) показав, що виготовлення скрученого виробу зі збільшеним кроком звивання та зменшення величини поздовжньої сили в зазначеному діапазоні тягне за собою підвищення значення  $K_n$ .

Виконані розробки, присвячені вивченню напружено-деформованого стану дротів у процесі звивання, послужили основою для вибору параметрів настроювання розробленої конструкції преформатора на опорах кочення. Вибір параметрів спрямовано на визначення раціонального співвідношення розмірів напрямного та деформуючого роликів, які в остаточному підсумку забезпечили виробництво якісного виробу з мінімальною залишковою крутністю. Дану задачу розв'язували експериментальним шляхом при незмінних параметрах настроювання інших технологічних пристосувань, притаманних кордозвивальним машинам типу DY-2. Задаючи різні параметри преформації за рахунок варіації попередньо розрахованих діаметрів роликів пристрою, виготовляли зразки металокорду 9Л15/27 та згідно з вимогами технічного стандарту визначали їх якісні показники (прямолінійність, залишкову крутність).

Виявлено, що запропоновані параметри преформації виявляють помітний вплив на якість металокорду. У діапазоні змінення діаметра напрямного ролика  $D_{\text{н.р.}} = 17,0 \dots 18,5$  мм при фіксованій

відстані (по горизонталі) від точки сходу з деформуючого ролика до звивальних плашок, яка дорівнює 60 мм, спостерігається раціональне співвідношення  $D_{нр}/d_p = 2,6... 3,1$ , що забезпечує виготовлення металокорду, який не розкручується, з гарантованою мінімальною залишковою крутністю ( $0... \pm 0,5$  об.). Відхилення від зазначеного інтервалу в бік збільшення призводить до зростання маси роликів, що спричиняє виникнення при великих швидкостях роторів кордозвивальних машин додаткових відцентрових сил, які негативно відбиваються на довговічності підшипників і надійності преформатора в цілому. У свою чергу, відхилення в бік зменшення сприяє зниженню якісних показників металокорду та підвищеному зносу роликів.

Оцінку ефективності преформатора на опорах кочення з рекомендованими параметрами настроювання здійснювали за результатами виконаного комплексу випробувань, що передбачав замірювання динамічного натягу дrotів, визначення їх обривності в процесі звивання, оцінку якісних показників металокорду, а також можливості переробки вихідного елемента збільшеного типорозміру. Як базовий варіант прийнято застосовуваний у теперішній час для виготовлення скрученого виробу двопластинчастий (заводський) преформатор. Динамічний натяг дrotів визначали на різних каретках кордозвивальної машини, при цьому статичне натягіння установлювали відповідно до технологічною картою виготовлення металокорду 9Л15/27. Після запуску кордозвивальної машини за допомогою тензометра вимірювали початковий динамічний натяг, а потім через кожні п'ять хвилин роботи обладнання. Результати наведено в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Динамічний натяг дrotів на різних преформаторах

Каретка	Статичний натяг, Н	Динамічний натяг дrotів, Н		Зниження динамічного натягу, %
		Заводський преформатор	Преформатор на опорах кочення	
1	7,0	$\frac{23,0 - 35,0}{28,7}$	$\frac{18,0 - 22,5}{19,35}$	32,5
2	7,0	$\frac{23,0 - 35,0}{28,3}$	$\frac{19,0 - 23,0}{21,0}$	25,8
3	7,5	$\frac{19,5 - 22,5}{21,08}$	$\frac{16,0 - 17,5}{16,5}$	21,7
4	8,5	$\frac{20,0 - 22,0}{21,0}$	$\frac{15,0 - 17,0}{15,83}$	24,6
5	10,0	$\frac{20,0 - 22,0}{21,0}$	$\frac{14,5 - 18,0}{16,0}$	23,8
6	12,0	$\frac{19,0 - 23,0}{21,25}$	$\frac{14,5 - 17,5}{16,0}$	24,7

Примітка. У чисельнику – мінімальне та максимальне значення, у знаменнику – середнє.

Установлено, що застосування дводискового преформатора на опорах кочення, порівняно з двопластинчастим (заводським), дозволило знизити динамічний натяг дrotів (на 22...32 %) і зменшити амплітуду його коливання. Така тенденція характерна для усіх кареток кордозвивальної машини [3]. Незалежно від технологічності вихідного металу спостерігається також стабільне зменшення (на 27 %) зазначеного показника, що додатково свідчить про ефективність запропонованого технічного рішення.

Таблиця 2

Динамічний натяг дrotів різної технологічності

Катушка	Динамічний натяг дrotів, Н		Зниження динамічного натягу, %
	Заводський преформатор	Пристрій на опорах кочення	
Добра технологічність			
1	$\frac{21,0 - 23,0}{22,0}$	$\frac{15,0 - 17,0}{16,0}$	27,3
2	$\frac{22,0 - 36,0}{29,5}$	$\frac{17,0 - 23,0}{20,0}$	32,2
3	$\frac{23,0 - 29,0}{25,6}$	$\frac{18,0 - 21,0}{19,0}$	25,8

4	$\frac{19,0-21,0}{20,0}$	$\frac{14,0-16,0}{15,1}$	24,5
5	$\frac{20,0-21,0}{20,4}$	$\frac{15,0-16,5}{15,7}$	23,0
Низька технологічність (відбракований дріт)			
1	$\frac{25,0-40,0}{32,6}$	$\frac{22,0-25,0}{23,1}$	29,1
2	$\frac{35,0-44,0}{39,0}$	$\frac{23,0-26,0}{24,1}$	38,2
3	$\frac{23,0-27,0}{24,8}$	$\frac{18,5-20,0}{19,1}$	23,0
4	$\frac{23,0-27,0}{25,0}$	$\frac{19,0-21,0}{20,0}$	20,0
5	$\frac{24,0-29,0}{26,5}$	$\frac{18,0-22,0}{20,0}$	24,5

Якісні показники та обривність дроту оцінювали в процесі звивання та проведення стандартних випробувань скрученого виробу. Аналіз отриманих даних дозволив зазначити наступне. Застосування розробленої конструкції технологічного пристрою на опорах кочення з рекомендованими параметрами настроювання сприяє отримати металокард зі значно меншою залишковою крутністю, ніж при застосуванні двошарового преформатора. Так, нульовою залишковою крутністю характеризувалося відповідно 77 і 36 % канатів, а максимальна величина даного показника склала 1 та 3 оберта відповідно. Потрібно зазначити, що витривалість металокарду, виготовленого на канатозвивальних машинах з дводисковими преформаторами, значно перевищує вимоги стандарту, але трохи нижче серійної продукції. Це пояснюється тим, що на дослідних преформаторах 70 % спрацьованого металу склали катушки з низькою технологічністю. Незважаючи на зазначений вище факт, у процесі звивання металокарду з пристроями на опорах кочення обривність дроту спостерігалася в 4,3 рази нижче. Такий висновок говорить про те, що запропонований принцип преформування сприяє підвищенню продуктивності кордозвивального обладнання та значному зменшенню нормативного коефіцієнта витрати металу на 1 т готової продукції. Досвід використання показав, що розроблений преформатор в експлуатації надійний, а заправка дроту полегшена. Підтвердженням широких можливостей використання пристрою є також переробка двох заправок дроту підвищеного типорозміру (0,272... 0,276 мм). Крім того, була виготовлена дослідна партія обсягом 50 т металокарду типу 9Л27/32 із стабільною нульовою залишковою крутністю.

На Орловському сталепрокатному заводі впроваджено 460 преформаторів на опорах кочення для виробництва металокарду 9Л15/27. Розроблена технологічна інструкція виробництва зазначеного типу скрученого виробу з використанням даного технологічного пристрою.

**Висновок.** Таким чином, на підставі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень розроблено малогабаритну та металомістку конструкцію преформуючого пристрою на опорах кочення. Рекомендовані параметри настроювання дозволяють сумісно з іншими технологічними пристроями, якими обладнані кордозвивальні машини типу ДУ-2, отримати прямолінійний металокард, що не розкручується, з гарантованою мінімальною залишковою крутністю, який відповідає світовим стандартам, а також підвищити продуктивність та надійність канатозвивального обладнання.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. *Сергеев С.Т.* Стальные канаты. – Киев: Техніка, 1974. – 327 с.
2. *Феодосьев В.И.* Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1986. – 512 с.
3. *Миренский И.Г., Алексеев Ю.Г., Калоша Г.А.* Применение преформаторов на опорах качения при производстве металлокарда // Сталь. – 1993. – № 2. – С. 65–68.

МІРЕНСЬКИЙ Ігор Григорович – доктор технічних наук, професор Харківської національної академії міського господарства.

Наукові інтереси:

– теоретична механіка.

Подано 16.02.2009



**Міренський І.Г.** Параметри настроювання дводискового преформатора на опорах кочення  
**Миренский И.Г.** Параметры настройки двухдискового преформатора на опорах качения  
**Miren'sky I.G.** Parameters of tooling of two-disk perfomator on rolling bearing

УДК 677.72

**Параметры настройки двухдискового преформатора на опорах качения / И.Г. Миренский**

В статье приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния элементов скрученного изделия в процессе свивания. Предложены рациональные параметры настройки преформирующего малогабаритного устройства на опорах качения, которые позволяют получить прямолинейный металокорд с минимальной остаточной крутостью на уровне мировых стандартов

УДК 677.72

**Parameters of tooling of two-disk perfomator on rolling bearing / I.G. Miren'sky**

In the article there are adduced results of researching of stressedly-deformed state of elements of twisted goods when it is twisting. There are proposed rational parameters of tuning of preforming compact device on rolling bearing, which allow to get rectilineal metalocord with minimal residual twisting according to world-wide standarts.