



It is shown that at manufacture of metal cord of compact constructions there is a possibility to control by various processing methods the inclination of metal cord layers to migration.

А. В. ВЕДЕНЕЕВ, ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»,
Ю. В. ФЕОКТИСТОВ, БМЗ (1989–2000 гг.), Б. А. БИРЮКОВ, ИЦМ АН РБ (1998–2000 гг.),
В. И. ГРИЦАЕНКО, ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»

УДК 669.

ПРОБЛЕМЫ МИГРАЦИИ ПРОВОЛОК ВНУТРЕННИХ СЛОЕВ МЕТАЛЛОКОРДА КОМПАКТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Широкое распространение при производстве шин получил металлокорд с компактным расположением проволок. Эти конструкции имеют линейный контакт проволок между собой, что способствует наилучшему сопротивлению фреттинг-коррозии. Но для многослойного металлокорда, который используется в брекере грузовых шин, очень важно не допустить миграции центральных проволок. Продольная подвижность проволок в металлокорде характерна для металлокорда компактных конструкций. Способность центральных слоев металлокорда к миграции оценивают через испытание на анкеровку.

За показатель анкеровки принято считать усилие выдергивания проволок внутренних слоев из оболочки проволок наружных по отношению к ним слоев. Низкий уровень анкеровки снижает показатель выносливости и создает проблемы при переработке резинокордового полотна.

Проблемы, связанные с выходом центральной проволоки или сердцевины (например, 1 + 6) при обрезке обрешиненного полотна, связаны с наличием внутренних сжимающих напряжений в центральных элементах компактного металлокорда. Это явления связаны с кинематикой свивки методом двойного кручения, которые в основном используются в современном производстве металлокорда. При вторичном скручивании фактически собранных в упорядоченную структуру проволок происходит различное укорочение проволок в слоях: максимальное у проволок наружного слоя и нулевое у центральной проволоки. Для компенсации сжимающих напряжений к проволокам внутренних слоев при свивке прилагают усилия растяжения, значительно превышающие усилия для наружных проволок. Но, кроме того, очень важно учитывать упругие остаточные напряжения не только для внутренних проволок, но и для

наружного повива. Сложные виды деформации при свивке создают различное поведение проволок, уложенных в виде спиралей в металлокорд, которое можно косвенно определить через усилие анкеровки.

Значения остаточного напряженного состояния проволок и уровня упругих деформаций непосредственно влияют на усилие анкеровки центральной проволоки. Косвенным методом оценки величины остаточной деформации является определение остаточной кривизны проволок, выплетенных из различных слоев металлокорда. На рис. 1 показана схема взаимодействия проволок наружного повива с центральной структурой.

Согласно представленной схеме, усилие анкеровки $P_{\text{анк}}$ определяется по формуле:

$$P_{\text{анк}} = nF_{\text{тр}} = nNf, \quad (1)$$

где n – количество проволок во внутреннем слое; $F_{\text{тр}}$ – сила трения, Н; N – нормальная сила, Н; f – коэффициент трения между проволоками внутреннего повива и центральной проволокой (0,2–0,3).

Взаимосвязь нормальной силы и остаточной кривизны свитых проволок определяется следующим выражением [1]:

$$K_{\text{ост}} = K - \frac{M_{\text{изг}}}{EJ} = K - \frac{N\sqrt{t^2 + (\pi d_{\text{св}})^2}}{2}, \quad (2)$$

где $K_{\text{ост}}$ K – остаточная кривизна проволок и кривизна проволок в металлокорде, м^{-1} ; $M_{\text{изг}}$ – изгибающий момент, Н·м; E – модуль упругости стали

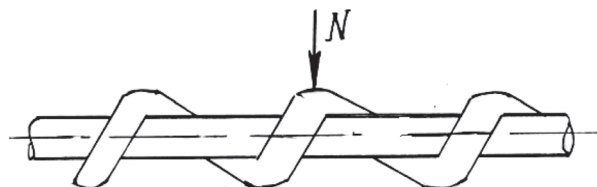


Рис. 1. Схема действия сил в элементах металлокорда

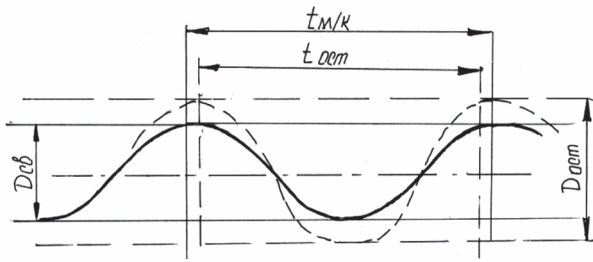


Рис. 2. Изменение кривизны спирали после выплетения проволоки из металлокорда

($9,8 \cdot 10^6$ Па); J – момент инерции, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $t, d_{\text{св}}$ – шаг и диаметр свивки, м.

Таким образом, анализируя изменение кривизны проволоки после свивки и выплетения из металлокорда, можно судить о силе нормального давления, а значит, и об анкеровке:

$$N = \frac{2(K - K_{\text{ост}})EJ}{l} \quad (3)$$

Одним из основных требований при изготовлении металлокорда конструкций является плотное расположение проволок в структуре. Плотность структуры можно оценить по поведению элементов корда после их выплетения из корда.

Таким образом, по кривизне проволоки в свитом состоянии и после выплетения ее из металлокорда можно судить об усилении прилегания проволок к центральным слоям. Чем меньше остаточная кривизна выплетенных проволок по сравнению с кривизной этих проволок в металлокорде, тем плотнее структура металлокорда.

Для подтверждения теоретических предположений были проверены результаты на изменение остаточной кривизны проволок на принятом за эталон металлокорде 0,20 + 18x0,175 (с шагом 10 мм); 0,20 + 18x0,175 ST (с шагом 10 мм); 0,20 + 18x0,175 (с шагом 12,5 мм) (табл. 1). Величины изменения полной кривизны и кручения практически совпадают, что свидетельствует о присутствии в проволоках в основном упругих крутящих моментов. Знак «-» показывает на стремление проволок уменьшить полную кривизну спирали, т. е. увеличить плотность прилегания к центру металлокорда, а соответственно и увеличить анкеровку проволок и уменьшить склонность к миграции центральных проволок.

Уровень остаточной кривизны определяется уровнем упругих напряжений материала проволок и глубиной деформационной обработки при свивке. Одним из основных видов деформации при изготовлении витых изделий является растяжение, которое определяется условиями размотки. При этом важно учесть распределение натяжения проволок между слоями [2]. С целью учета влияния суммарного натяжения и разности натяжения между проволоками в слоях предложено использование коэффициента нагруженности, который определяется из выражения:

$$\xi = K_n K_p,$$

где K_n и K_p – коэффициенты, учитывающие величину суммарной нагрузки и разность натяжения между проволоками наружного повива и центральной проволокой:

Таблица 1. Обработка результатов измерений остаточной кривизны проволок металлокорда 0,20 + 18x0,175 с разными шагами и разрывным усилием

Образец	Шаг свивки, мм	Слой металлокорда	Диаметр свивки, мм	Диаметр слоя, мм	Кривизна, мм^{-1}	Кручение, мм^{-1}	Полная кривизна, мм^{-1}	Изменение кривизны, мм^{-1}	Изменение кручения, мм^{-1}	Изменение полной кривизны, мм^{-1}
Расчетный	10,0	1	0,375	0,550	0,07301	0,61972	0,62400	–	–	–
	10,0	2	0,620	0,795	0,11796	0,60533	0,61672	–	–	–
	10,0	3	0,725	0,900	0,13605	0,59733	0,61263	–	–	–
Прочность NT*	10,10	1	0,697	0,872	0,12880	0,59410	0,60790	0,0558	-0,0257	-0,0161
	10,29	2	0,639	0,814	0,11490	0,58850	0,59960	-0,0031	-0,0168	-0,0171
	10,15	3	0,727	0,902	0,13270	0,58940	0,60410	-0,0034	-0,0080	-0,0085
Прочность ST*	9,93	1	0,399	0,574	0,07860	0,62260	0,62750	0,0055	0,0029	0,0035
	11,02	2	0,735	0,91	0,11450	0,54630	0,5581	-0,0035	-0,0591	-0,0586
	9,69	3	0,839	1,014	0,16430	0,60380	0,62570	0,0282	0,0065	0,0131
Расчетный	12,5	1	0,375	0,550	0,04696	0,49823	0,50044	–	–	–
	12,5	2	0,620	0,795	0,07650	0,49073	0,49666	–	–	–
	12,5	3	0,725	0,900	0,08865	0,48650	0,49451	–	–	–
Прочность NT*	13,78	1	0,353	0,528	0,03650	0,45320	0,45460	-0,0105	-0,0451	-0,0458
	12,54	2	0,619	0,794	0,07590	0,48930	0,49510	-0,0006	-0,0014	-0,0015
	13,11	3	0,768	0,943	0,08530	0,46350	0,47130	-0,0033	-0,0230	-0,0232

Примечание: * NT (normal tensile); ST (super tensile).

$$K_H = \frac{P_{\text{сум}}^x}{P_{\text{сум}}^0},$$

где $P_{\text{сум}}^0$ и $P_{\text{сум}}^x$ – суммарные натяжения проволок при свивке исходного и рассматриваемого вариантов, Н;

$$K_p = 1 - \frac{P_H}{P_{\text{ц}}},$$

где $P_{\text{ц}}$ и P_H – натяжение центральной проволоки и проволоки наружного повива, Н.

В табл. 2 приведена зависимость анкеровки от коэффициента нагруженности и деформации центральной проволоки для металлокорда 0,20 + 18x0,175.

По результатам исследований видно, что большую роль в повышении анкерочной способности играет шероховатость центральной проволоки. Кроме того, прослеживается зависимость: с увеличением величины коэффициента нагруженности на центральную проволоку повышается усилие анкеровки центральной проволоки.

Таблица 2. Влияние коэффициента нагруженности на центральную проволоку на величину ее анкеровки

Вариант	$P_{\text{сум}}$, Н	$P_{\text{ц}}/P_H$	Коэффициент нагруженности	Рифление центральной проволоки	Анкеровка, Н
1	309	0,800	0,246	–	4,1
2	292	0,429	0,664	+	7,9
3	260	0,500	0,518	+	8,3
4	324	0,400	0,774	+	9,1
5	329	0,343	0,861	+	19,0

На рис. 3 показано изменение усилия анкеровки с повышением натяжения проволок наружного повива ($P_{\text{нар}}$) при неизменном натяжении центральной проволоки и проволок внутреннего повива ($P_{\text{вн}}$). Повышение уровня анкеровки, по-види-

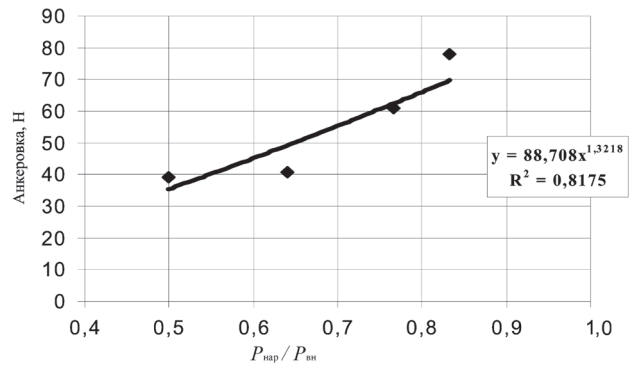


Рис. 3. Зависимость усилия анкеровки от пропорции натяжений проволок наружного и внутреннего слоев

тому, связано с ростом остаточной кривизны проволок наружного повива и в связи с этим увеличением нормального давления.

Из экспериментальных данных установлено, что не менее важным фактором в уровне анкеровки проволок внутренних слоев является степень остаточной упругой крутильной деформации. Регулирование величиной подкрутки осуществляется отношением скорости вращения ротационной размотки к скорости вращения ротора свивочного модуля канатной машины.

Известно, что для устранения упругих крутящих моментов в свивочных машинах двойного кручения применяют торсионы, которые, как известно из литературных источников, способствуют ухудшению компактного расположения проволок (как бы разрыхляют структуру) [3]. Поэтому чем меньше уровень упругих крутящих моментов, тем меньше потребуется воздействие торсиона. Сравнение действий упругих крутящих моментов при различных степенях подкручивания проволок различных слоев при свивке показано на рис. 4.

Результаты исследования остаточного кручения по слоям металлокорда при разных технологиях свивки приведены в табл. 3.

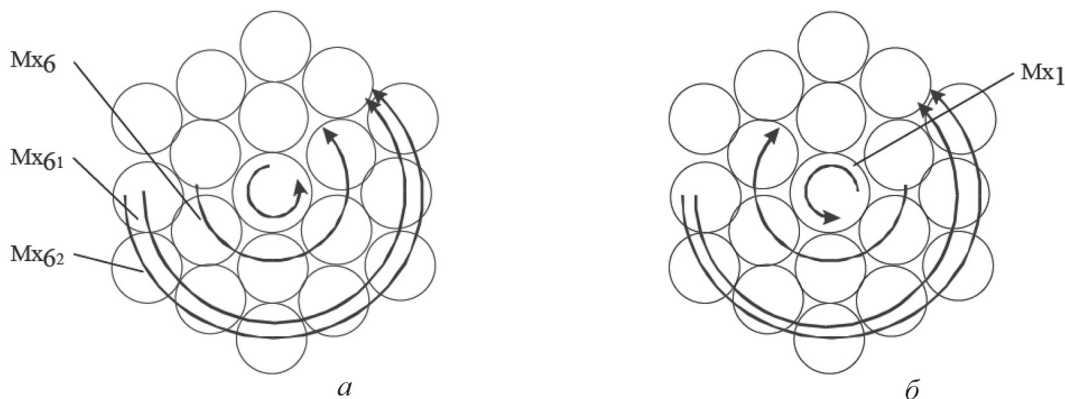


Рис. 4. Направление действия крутящих моментов в металлокорде свивом: а – с подкручиванием всех проволок внутреннего и наружного повивов; б – без подкручивания проволок внутреннего слоя

Т а б л и ц а 3. Распределение кручений по слоям

Технология	Остаточное кручение по слоям, об/6м		Разница в слоях, об.
	1 + 6 + 12	1 + 6	
С подкручиванием всех проволок внутреннего и наружного повивов	-0,75	-0,5	0,25
Без подкручивания проволок внутреннего слоя	-0,5	+ 1,5	2

П р и м е ч а н и е: при свивке «Z» знак «+» означает раскручивание спирали (увеличение $D_{ост}$); «-» – закручивание спирали и увеличение N (см. рис. 1, 2).

Как видно из таблицы, момент, возникающий в среднем слое металлокорда, изготовленного по опытной технологии, имеет противоположное направление относительно верхнего. Данное взаимодействие моментов изменяет остаточную кривизну проволок внутреннего и наружного повивов, направленных на тесный контакт проволок между слоями, тем самым, усиливая анкеровку слоя 1 + 6.

Для подтверждения этого был проведен эксперимент при изготовлении металлокорда 0,20 + 18x0,175ST, в котором диапазон изменения скорости вращения ротационной размотки определялся компактным расположением проволок в структуре и раскручиваемостью проволок наружного повива (рис. 5).

Для достижения анкеровки выше 10 Н необходимо устанавливать отношение частоты вращения свивочного ротора машины к частоте вращения ротационной размотки проволок не более 1,3.

Выводы

1. При производстве металлокорда компактных конструкций имеется возможность различ-

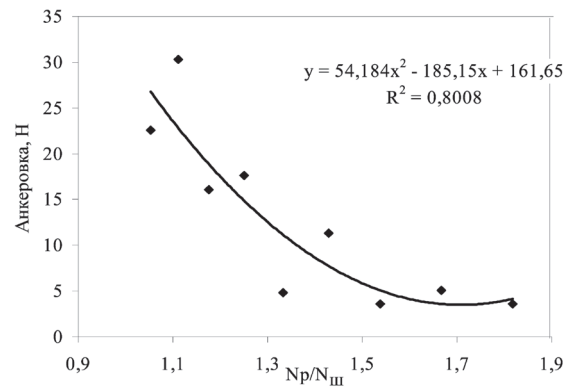


Рис. 5. Зависимость усилия анкеровки центральной проволоки от отношения частоты вращения свивочного ротора машины (N_p) к частоте вращения устройства предварительной подкрутки проволок ($N_{ш}$)

ными технологическими приемами контролировать склонность центральных слоев металлокорда к миграции.

2. Основной причиной снижения анкеровки центральных структур является ослабление проволок внешнего повива под действием упругих напряжений в проволоке.

3. Создание сдвливающего момента упругой отдачи на центральные структуры металлокорда со стороны проволок внешнего повива возможно путем создания оптимальной разницы в натяжениях, а также степенью остаточных крутящих моментов с помощью подкрутки в ротационной размотке.

Особую актуальность проблема приобретает при изготовлении металлокорда из проволоки с уровнем прочности 3800–4200 МПа.

Литература

1. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Сопротивление материалов. М.: Выс. шк., 1995.
2. Владимиров Ю. В. Новое поколение высокоскоростных прядевяющих свивальных машин. М.: АО «Черметинформация», 1993.
3. O s m a n A. S. Einfach- und Doppelschlagverlitzung // Drahtwelt. 1977. N 7. P. 269–272.