



The peculiarities of the wires behavior at spin on machines of double torsion are examined. The main characteristics of machines of double torsion are given.

А. В. ВЕДЕНЕЕВ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ МАШИН МНОГОКРАТНОГО КРУЧЕНИЯ. ЧАСТЬ 1

До начала 90-х годов изготовление стальных проволочных канатов производилось почти исключительно одинарной свивкой. Данные машины характеризуются невысокой производительностью, небольшой емкостью питающих катушек, большими габаритными размерами. Развитие свивочного оборудования от одинарного способа свивки, осуществляемого на корзиночных, сигарных машинах или типа «Skip» [1, 2], к способу двойного кручения было связано с постоянной необходимостью повышения производительности при производстве канатных изделий. При способе двойного кручения в результате свивки проволоки металлокорда собираются в пучок с определенным расположением проволок или прядей. Дальнейшее их скручивание производится в два этапа изменения шага свивки: сначала с шагом в 2 раза большим, чем в готовом металлокорде, затем до готового шага [1–9]. Имеются два основных типа машин двойного кручения: 1) с расположением разматывающих катушек внутри свивочной части машины и приемной катушки вне машины; 2) с расположением приемной катушки внутри свивочной части машины, при этом питающие катушки находятся вне машины. Первоначально машины двойного кручения появились в кабельной промышленности для скручивания жил или проводов из меди и алюминия. При переходе к изготовлению канатных изделий из стальной проволоки повысились требования к качеству сырья для проволоки под стальные канаты, так как проволока при свивке методом двойного кручения испытывает неблагоприятную крутильную деформацию [10], которая часто приводит к обрывам проволок. Но на этом процесс развития способов свивки не остановился. В последнее время появились машины так называемого модульного типа, когда отдельные модули представляют собой за-

конченные механизмы со своей системой привода и управления. Такие модули могут состыковываться между собой в единое оборудование. Так, например, состыковка двух машин двойного кручения первого и второго типов позволила получить новую машину «тандем» с повышенной производительностью [4].

Особенности поведения проволок при свивке на машинах двойного кручения

Машины двойного кручения широко применяются во всем мире при изготовлении металлокорда. Особенностью метода двойного кручения является то, что при образовании винтовой линии проволока подвергается подкручиванию в сторону развития спирали. При этом проволока совершает один оборот вокруг своей оси на длине шага свивки [3]. На рис. 1 показано подкручивание проволок при их укладке в спираль в процессе свивки на машинах двойного кручения.

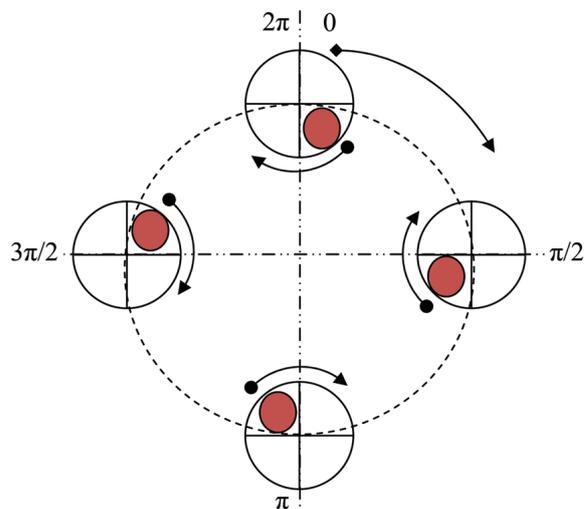


Рис. 1. Изменение ориентации проволоки металлокорда при свивке методом двойного кручения: ● – маркер положения проволоки при свивке металлокорда

При свивке на машинах двойного кручения укладка проволок в пучок может быть «неорганизованной» и «организованной». «Неорганизованная» свивка используется при изготовлении пряжей или канатов простых конструкций, например 2xd; 3xd; 4xd; 2 + 1xd; 2 + 2xd и т. д. [2, 4, 7, 8], как правило, на машинах с расположением питающих катушек внутри свивочного модуля. «Организованная» свивка применяется при изготовлении металлокорда многослойных конструкций (спиральных, компактных) и с целью снижения габаритных размеров изготавливается на машинах двойного кручения с расположением питающих катушек вне свивочного модуля.

Метод двойного кручения, как более производительный, получает все большее распространение при производстве витых изделий. В то же время метод имеет свои специфические особенности, которые накладывают ряд ограничений в его использовании для конструкций металлокорда на параметры технологии свивки, и выдвигает повышенные требования к качеству металла и способам пластической деформации при изготовлении проволоки.

Одним из основных требований при изготовлении металлокорда конструкций является устранение упругих крутящих моментов для плотного расположения проволок в структуре. Плотность структуры можно оценить по поведению элементов корда после их выплетения из корда (рис. 2).

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.

Взаимосвязь нормальной силы и остаточной кривизны свитых проволок определяется следующим образом [11]:

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

где $K_{ост}$, K – остаточная кривизна проволок и кривизна проволок в металлокорде, m^{-1} ; $M_{изг}$ – изгибающий момент, Н·м; E – модуль упругости проволоки, МПа; J – момент инерции, $kg \cdot m^2$; t , $d_{св}$ – шаг и диаметр свивки, м.

Изменение остаточной деформации проволок металлокорда вследствие их напряженного состояния после свивки может стать причиной миграции проволок центрального слоя металлокорда. Эти явления связаны с кинематикой свивки методом

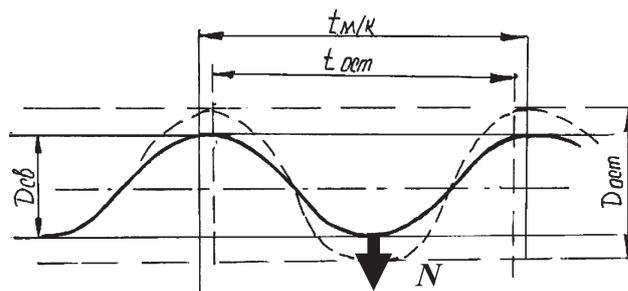


Рис. 2. Изменение кривизны спирали после выплетения проволоки из металлокорда: $D_{св}$, $D_{ост}$ – исходный и остаточный диаметр свивки проволоки; $t_{м/к}$, $t_{ост}$ – исходный и остаточный шаг свивки металлокорда; N – нормальная упругая сила

двойного кручения (основного на БМЗ), когда 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 для наружного повива.

В табл. 1 приведены результаты проверки изменения остаточной кривизны проволок на 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). Знак «←» указывает на стремление проволок уменьшить полную кривизну спирали, т. е. увеличить плотность прилегания проволок с периферийных слоев к центру металлокорда.

Основные характеристики машин двойного кручения

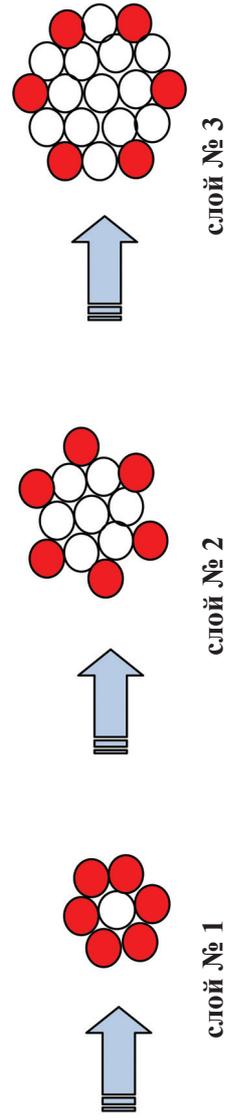
В отличие от машин одинарного кручения машины двойного кручения являются более компактными, высокопроизводительными, более простыми в заправке проволокой, с минимальными уровнями вибрации и шума при работе.

Как показано на рис. 3, свивка двойным кручением на машине типа «изнутри – наружу» состоит в том, что после размотки проволоки первоначально свиваются с шагом, равным двум шагам металлокорда ($2t_{мк}$) в узле свивки 2 за счет вращения петли 3 вокруг питающих катушек 1 со скоростью n_p и вытяжки металлокорда со скоростью V_p . Затем в точке 4 металлокорд получает подкрутку до шага $t_{мк}$. Возникающие при этом упругие крутящие моменты устраняются за счет дополнительного подкручивания до шага $t_m < t_{мк}$ в торсионном устройстве 5, которое вращается навстречу свивочному устройству со скоростью n_m .

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

Образец	Шаг свивки, мм	Слой металлоторда	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	—	—	—
Нормальной прочности	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
Сверхвысокопрочный	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	—	—	—
Нормальной прочности	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

Распределение проволок по слоям в металлоторде 0,20 + 18x0,175:



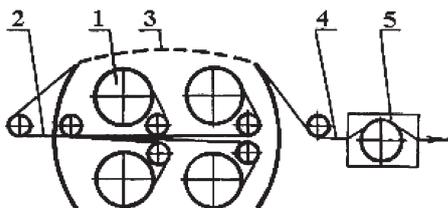


Рис. 3. Кинематическая схема крутильного узла машины двойного кручения с внутренним расположением питающих катушек («изнутри – наружу»): 1 – питающая катушка; 2 – первичная свивка; 3 – «баллон»; 4 – вторичная свивка; 5 – торсионный узел

В табл. 2 приведены ряд технических характеристик машин типа «изнутри-наружу», которые используются на РУП «БМЗ» при производстве металлокорда.

Таблица 2. Техническая характеристика канатного оборудования РУП «БМЗ» [6]

Техническая характеристика	Канатные машины			
	TD2/401	TD2/202	TD2/402	TD2/601
Тип машины	TD2/401	TD2/202	TD2/402	TD2/601
Максимальная частота вращения, об/мин	6000	6000		4700
Максимальное количество круток, крутки/мин	12 000	12 000		9400
Количество зарядных катушек, шт.	4 + 1; 4 + 4	2 + 2	2 + 4; 4 + 4	2 + 1; 2 + 2; 3 + 2; 4 + 3
Диаметры фланцев зарядных катушек, мм	190	190		190
Мощность двигателя, кВт	5,5; 5,9; 7,5	5,9; 7,5		5,9
Уровень шума, дБ	77	77		77
Тип или диаметр приемной катушки, мм	190; 275; BS40; BS60; BS80/17; BS80/33			

На рис. 4 показана машина данного типа MSDC производства фирмы «Sket», а на рис. 5 – схема свивочной машины двойного кручения типа с внешним расположением питающих катушек.



Рис. 4. Свивочная машина MSDC (фирма «Sket»)

Изменение шага свивки на машине с внешним расположением питающих катушек (рис. 5), аналогично кинематической схеме, показанной на рис. 3. Процесс свивки на машине, изготовленной по схеме «снаружи–вовнутрь», включает размотку проволоки 7 с питающих катушек 1, установленных на стационарном стенде. Проволоки и сердечник подаются к распределительному шаблону 8, а затем – в конус свивки и формирующие плашки 9. Первичная свивка 2 металлокорда с шагом $2t_{МК}$ осуществляется за счет вращения ротора со скоростью n_p , затем баллонизирующая свитая нить 3 проходит через крутильные диски к ротору 4. На участке ротор –направляющий ролик происходит докрутка витой структуры до шага $t_{МК}$. Для устранения упругих крутящих моментов производится пластическое кручение торсионным устройством 5 и намотка на приемную катушку 6. При этом проволоки также подкручиваются вокруг своей оси (см. рис. 1).

В табл. 3 приведены ряд технических характеристик машин типа «снаружи-вовнутрь», которые используются на РУП «БМЗ» при производстве металлокорда.

Таблица 3. Техническая характеристика канатного оборудования РУП «БМЗ»

Техническая характеристика	Канатные машины		
	RI-10	RI-10 М	RI-10 ВМ
Тип машины	RI-10	RI-10 М	RI-10 ВМ
Максимальная частота вращения, об/мин	3500	3500	3500
Максимальное количество круток, крутки/мин	7000	7000	7000
Количество зарядных катушек, шт.	18 + 1	2 + 7	2 + 18; 3 + 18
Диаметры фланцев зарядных катушек, мм	190; 275		
Мощность двигателя, кВт	11	11	11
Уровень шума, дБ	77	77	77
Тип или диаметр приемной катушки, мм	190; 275; BS40; BS60; BS80/17; BS80/33		

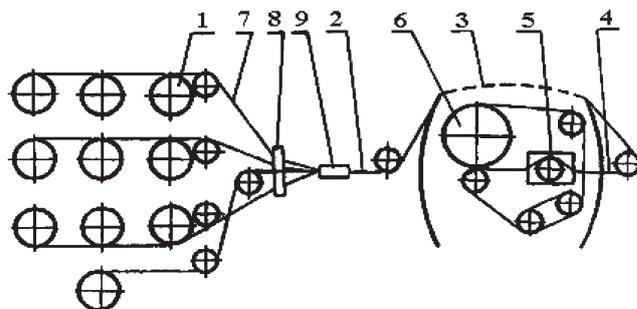


Рис. 5. Кинематическая схема свивочной машины двойного кручения с внешним расположением питающих катушек («снаружи-вовнутрь»): 1 – питающая катушка; 2 – первичная свивка; 3 – «баллон»; 4 – вторичная свивка; 5 – торсионный узел; 6 – приемная катушка; 7 – проволока; 8 – распределительный шаблон; 9 – плашки



Рис. 6. Свивочная машина DV3TI (фирма «Barmag»)

На рис. 6 показана машина данного типа DV3TI производства фирмы «Barmag».

Еще одной особенностью свивки методом двойного кручения металлокорда с сердечником является необходимость создания значительного натяжения сердечника при размотке по отношению к натяжению проволок (прядей) наружного повива. Формирование витых структур с центральным элементом (проволока, прядь или слой проволок) методом одинарного кручения не вызывает трудностей. Двойное кручение таких структур сопровождается накоплением избыточной длины центральных элементов на второй стадии свивки и нарушением структуры из-за потери устойчивости от действия огромных сжимающих усилий проволоками (пряжами) наружного повива, повышенной обрывностью, а также неравномерностью распределения нагрузки при эксплуатации металлокорда в шине.

Явление выхода сердечника в металлокорде описывается в работе [9]. Оно объясняется накоплением избыточной длины, возникающим в сердечнике при скручивании сформировавшейся конструкции металлокорда в зоне вторичной свивки. Для исключения нарушения свивки сердечника и возникновения дефектов типа «фонарь» в многослойных конструкциях металлокорда фирма «Sket» предложила машины MSDN (рис. 7) с последовательным расположением свивочных торсионов и типичную машину двойного кручения [2].

Как видно из рисунка, метод свивки многослойного корда и стальных прядей типа ТК (то-



Рис. 8. Свивочная машина LC-2 (фирма «ТТМ»)

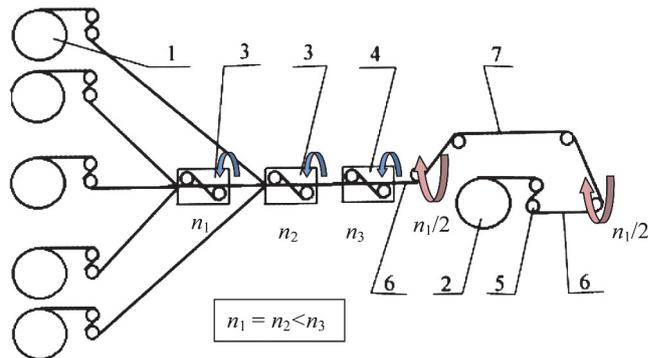


Рис. 7. Схема свивочной машины «снаружи–вовнутрь» с торсионами предварительной свивки: 1 – питающие катушки; 2 – приемная катушка; 3 – торсионы предварительной свивки корда; 4 – торсион пластической деформации проволоки; 5 – вытяжной кабестан; 6 – зоны свивки свивочной машины; 7 – вращающаяся петля корда

чечного касания) и ЛК (линейного касания) состоит в том, что после размотки 1 проволока первоначально свивается с шагом в торсионе 3, равным шагу металлокорда. Пластическая деформация проволок осуществляется в торсионе 4 за счет большей скорости вращения. Скорость вращения петли 7 равна половине скоростей торсионов предварительной свивки n_1 и n_2 , но за счет кинематики двойного кручения изменяет шаг свивки металлокорда до готового. Опыт использования данной схемы имеет существенный недостаток, связанный с высокой скоростью деформации свиваемых проволок или прядей в торсионах предварительной свивки, которая приводит к росту обрывности проволок из высокоуглеродистых сталей.

На рис. 8 показана современная реализация данной схемы свивки в машине LC-2 для производства компактных конструкций металлокорда.

Машина включает в себя стационарную размотку с питающими катушками, модуль формирования структуры с распределительным шаблоном, торсион первичной свивки, торсион пластической

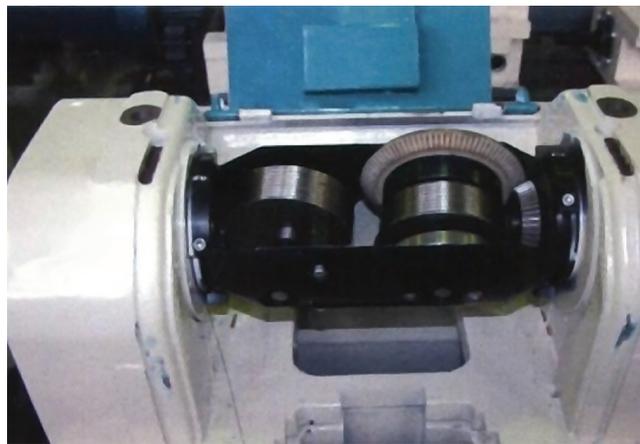


Рис. 9. Вращающееся вытяжное устройство

деформации, вращающуюся рихтовку, вращающееся вытяжное устройство (рис. 9) и модуль двойного кручения с приемной катушкой.

Несмотря на то что качество свивки при использовании схемы с торсионными предваритель-

ной свивки может улучшаться, повышение производительности оборудования может быть затруднено не только повышением уровня обрывов проволоки, но и снижением работоспособности вращающихся узлов при высоких скоростях.

Литература

1. Королев В. Д. Канатное производство. М.: Металлургия, 1980.
2. Владимиров Ю. В. Новое поколение высокоскоростных прядевьющих свивальных машин // Обзорная информация. М.: АО «Черметинформация». Сер. Метизное производство. 1993. Вып. 1.
3. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Веденеев А. В. Особенности свивки металлокорда на машинах одинарного и двойного кручения // Тез. докл. ВНТС «Пути ускорения научно-технического прогресса в метизном производстве». Магнитогорск. 1990. С. 101–102.
4. Немудрый Б. А. Оборудование для свивки металлокорда // Обзорная информация. М.: Черметинформация. 1980. Сер. 9, Вып. 2.
5. Райз М. Ш., Анцупова Н. И., Гурьянова Л. П. Совершенствование конструкций и технологии изготовления металлокорда // Обзорная информация. М.: Черметинформация. Сер. Метизное производство, 1986. Вып. 2.
6. Феоктистов Ю. В., Фетисов В. П., Бирюков Б. А. и др. Производство металлокорда на Белорусском металлургическом заводе // Экспресс-информация. М.: Черметинформация. 1990.
7. Феоктистов Ю. В. Разработка и внедрение технологии производства металлокорда методами многократной деформации кручения: Дис. ... канд. техн. наук. Мн., 1992.
8. Фетисов В. П., Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Куличев Л. А. Перспективные направления развития производства металлокорда // Экспресс-информация. М.: Черметинформация, 1992.
9. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Игнатъев С. Н. Расчеты параметров свивки металлокорда. Мн.: Белорганпромпиздат, 1996.
10. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Веденеев А. В. Снижение обрывности проволоки при свивке из нее прядей и металлокорда на свивальных машинах двойного кручения. М.: БНТИ «Черная металлургия». 1991. № 1. С. 62–63.
11. Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П. Соппротивление материалов. М.: Высш. шк., 1995.