



*The constituents of the wire strength loss are considered. The dominating role of deformation in strength loss is shown on an example of metal cord 3x0,30 and 3x0,30HT. It is revealed that complicated types of deformation for the dragged wire reduce the modulus of the material elasticity.*

Б. А. БИРЮКОВ, ИЦМ АН РБ (1998–2000 гг.), Ю. В. ФЕОКТИСТОВ, БМЗ (1989–2000 гг.),  
А. В. ВЕДЕНЕЕВ, ОАО «БМЗ» – УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ ХОЛДИНГА «БМК»

УДК 669

## СНИЖЕНИЕ ОБРЫВНОСТИ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ ПРИ СВИВКЕ ИЗ НЕЕ МЕТАЛЛОКОРДА НА МАШИНАХ ДВОЙНОГО КРУЧЕНИЯ

Процесс изготовления металлокорда, как правило, производимого на высокоскоростных свивочных машинах, зачастую сопровождается обрывами тонких проволок, которые ухудшают качество металлокорда, сдерживают производительность оборудования и приводят к перерасходу исходного материала. На Белорусском металлургическом заводе, производящим высокопрочный металлокорд, давно изучаются причины обрывности тончайшей стальной латунированной проволоки при свивке из нее прядей и металлокорда и в данной статье сделана попытка описать основные причины ее обрывов при свивке изделий на машинах двойного кручения.

Свивка высокопрочной проволоки в металлокорд должна обеспечивать малые потери прочности и низкую обрывность. Снижение потерь прочности возможно в относительно простых (3–7 ниточных) или же в многослойных и компактных конструкциях металлокорда. При этом минимальная обрывность и снижение потерь прочности обеспечивается при выборе рациональных схем деформации при свивке. К недостаткам метода двойного кручения относится, прежде всего, повышенное требование к качеству перерабатываемой проволоки по чистоте стали (неметаллические включения, повышенное содержание цветных металлов, азота и др.), дефектам метизного передела (низкий запас пластичности, склонность к расслоению и др.). Такая чувствительность технологии при изготовлении канатов методом двойного кручения связана со спецификой деформирования проволоки при свивке, где основное деформирующее воздействие на проволоку – «кручение+растяжение» и на порядок меньше изгиб [1–4].

Основными причинами обрывов проволоки (табл. 1) являются дефекты металлургического

и проволочного переделов, а также неотлаженность оборудования на участке свивки. На различном свивочном оборудовании дефекты такого характера проявляются по-разному. Так, наибольшее количество обрывов (88,6%) приходится на свивочные машины мод. ТД 2/401 (49% от общего числа свивочных машин фирмы «Danieli», Италия), на которых свивают пряди, сердечники и металлокорд простейших конструкций. В том числе 55,2% обрывов происходит из-за дефектов металлургического передела, в частности, вследствие наличия неметаллических включений в стали. Это связано со спецификой деформирования проволоки в торсионном узле свивальных машин, где витые изделия подвергаются преимущественно знакопеременному кручению с напряжениями выше предела текучести стали, а также изгибу в устройстве двухплоскостной рихтовки, применяемой с целью снятия свивочных напряжений.

Таблица 1. Влияние различных факторов на обрывность проволоки при свивке [1]

Модель свивочной машины	Число обрывов на 1 т годного металлокорда (количество обрывов от их общего числа)			Всего обрывов на 1 т металлокорда	Доля обрывов, %
	от дефектов металлургического передела	от дефектов проволочного передела	из-за неотлаженности свивочных машин		
ТД 2/401	0,9 (99,34)	0,562 (81,45)	0,168 (68,85)	1,63	88,59
СД 2/6 + 1	0,006 (0,66)	0,094 (13,62)	0,076 (31,15)	0,176	9,56
СД 2/2 + 1		–	–		
RiR	–	0,034 (4,93)	–	0,034	1,85
Итого	0,906 (100)	0,69 (100)	0,244 (100)	1,84	100

Дефекты проволочного передела (в основном электроэрозия, риски, несплошности покрытия) проявляются в большей степени на свивальных машинах одинарного кручения. Основной вид ме-

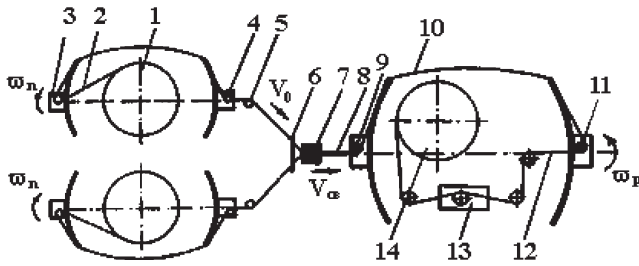


Рис. 1 Кинематическая схема свивочной машины двойного кручения с внешним расположением питающих катушек и узлом подкрутки проволоки: 1 – питающая катушка; 2 – проволока; 3 – первичная подкрутка; 4 – вторичная подкрутка; 5 – направляющие ролики; 6 – распределительный шаблон; 7 – плашки; 8 – витая структура; 9 – первичная свивка; 10 – «баллон»; 11 – вторичная свивка; 12 – витая структура с номинальным шагом; 13 – торсионный узел; 14 – приемная катушка

ханической нагрузки на проволоку в них – изгиб, особенно на трех опорных преформаторах и в рихтовальных устройствах, в меньшей степени оказывает влияние на кручение при свивке. Кроме того, на обрывность в значительной степени влияет техническое состояние самих свивочных машин.

Все указанные факторы не влияют на обрывность на свивальных машинах моделей с ротационной размоткой DV3TIR фирмы «Varmag» (Германия), которые отличаются более благоприятными условиями размотки и деформирований проволоки при свивке.

В немалой степени на обрывность проволоки влияет статическая растягивающая нагрузка на проволоку, возрастающая от размоточного устройства в результате ее перегиба на роликах проводковой системы и от трения о поверхность салазок на крутильных частях, в сочетании с деформацией кручения при свивке в металлокорд.

Снижению обрывности проволоки может способствовать уменьшение величины укручивания

проволок на шаге свивки за счет использования ротационной размотки для регулируемой подкрутки проволоки, схема которой представлена на рис. 1 [5, 6].

Проволока или прядь, разматываясь с катушки 1, сначала направляется против хода машины, получая первичную подкрутку со скоростью  $\omega_n$  роторами 3, вращающимися синхронно в том же направлении, что и крутильный ротор машины 9 и 11. Затем, поступая в ротор 4, получаем вторичную подкрутку.

Далее проволоки или пряди формируются в структуру металлокорда в распределительном шаблоне 6, направляются в конус свивки в формирующих плашках 7 и образуют витую структуру определенной конструкции, которая протягивается со скоростью  $V_{св}$  и вращается со скоростью  $\omega_p$  ротором 9 крутильной части машины. Затем металлокорд проходит по «баллону» и поступает в ротор 11, где получает дополнительную подкрутку до готового шага.

Соотношение скоростей  $\omega_n$  и  $\omega_p$  является важным для проволоки с точки зрения напряженного состояния в свитой структуре, а для пряди, кроме того, с точки зрения изменения шага свивки:

$$t_k = \frac{t_n t_{MK}}{t_{MK} \pm t_n \left( 1 \mp \frac{\omega_n}{\omega_p} \right)},$$

где  $t_k$  – конечный шаг свивки пряди в металлокорде;  $t_n$  – начальный шаг свивки пряди до свивки в металлокорд;  $t_{MK}$  – шаг свивки металлокорда;  $t_{MK} + t_n$  – направления свивки металлокорда и пряди совпадают;  $t_{MK} - t_n$  – разное направление свивки металлокорда и пряди;  $1 + \frac{\omega_n}{\omega_p}$  – разное направление

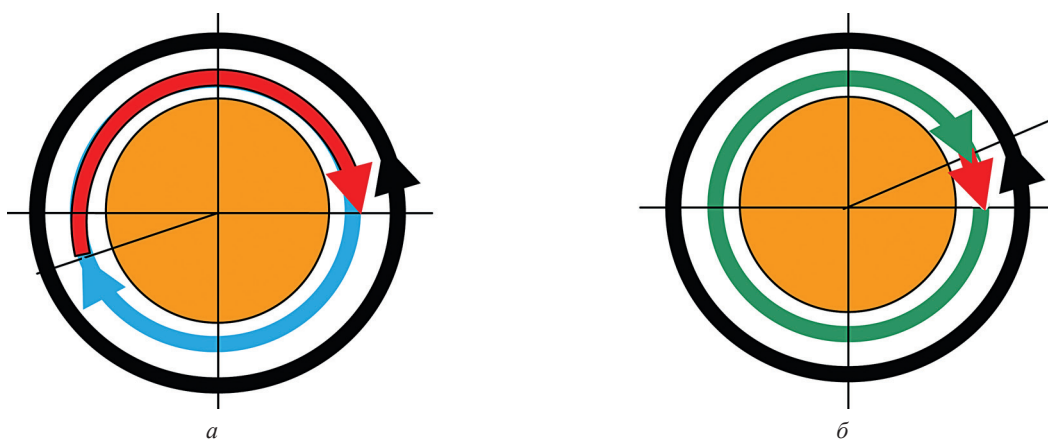


Рис. 2. Направление действия упругих крутящих моментов на проволоках (красный цвет) при полной деформации кручения проволоки при свивке в металлокорд (черный цвет): а – после пластической деформации при кручении (синий цвет); б – после предварительной подкрутки (зеленый цвет): а – обычная машина двойной свивки; б – машина двойной свивки с регулируемой степенью подкручивания проволоки (ротационная размотка)

Т а б л и ц а 2. Значения потерь прочности проволок для металлокорда различных конструкций

Конструкция металлокорда	Полные потери $K_n, \%$	Потери на деформацию $K_d, \%$	Доля $K_d$ в полных потерях, %	Конструктивные потери $K_k, \%$	Доля $K_k$ в полных потерях, %
2x0,30 НТ	7,4	6,8	91,9	0,6	8,1
3x0,35 НТ	3,81	3,35	87,9	0,46	12,1
3 + 9x0,35 НТ	4,33	2,73	63,0	1,6	37,0
3x0,15/6x0,265 ST CC	6,43	5,03	78,2	1,4	21,8
0,20 + 18x0,175 CC	7,76	6,65	85,7	1,11	14,3
0,20 + 18x0,175 ST CC	8,17	6,13	75,0	2,04	25,0
3 + 8 + 13x0,22 + 0,15	8,05	7,45	92,5	0,6	7,5

вращения свивочного ротора и ротационной размотки;  $1 - \frac{W_p}{W_p}$  – направление роторов совпадает.

На рис. 2 показана сравнительная схема образования упругих крутящих моментов для обычной машины двойного кручения и машины двойного кручения с ротационной размоткой.

За счет регулирования степенью подкрутки проволок перед свивкой в металлокорд можно добиться наилучшего прилегания проволок наружного повива к проволокам центральных слоев. Согласно рисунку, использование ротационной размотки для отдельных проволок или прядей снижает уровень упругих крутящих моментов, поэтому в меньшей степени требуется воздействие торсиона для обработки корда крутильной деформацией. Снижение величины деформации кручения, как правило, ведет к снижению обрывности проволок при свивке.

Кроме того, актуальной стала возможность регулирования степени деформации на проволоки с помощью ротационных размоток при изготовлении компактных конструкций металлокорда и свивке корда из сверх- и ультравысокопрочной проволоки. В первом случае упругие моменты в проволоке направлены на уплотнение конструкции, во втором случае на проволоку воздействуют минимальными крутильными деформациями, снижая работу деформации и меньше травмируя проволоку.

Особенно важно использование минимальной деформации кручения при производстве высокопрочных материалов, которые впоследствии подвергаются сложнодеформированному воздействию. Увеличение прочности тонкой проволоки после волочения приводит к росту упругой части деформации при свивке и, как следствие, к повышению суммарной деформации для проволок с целью получения требуемого остаточного кручения, прямолинейности и нераскручиваемости. В зависимости от технологической схемы изготовления металлокорда уровень напряжений и характер их воздействия на свойства проволоки будут различ-

ными, которые в некоторых случаях могут привести к разрушению проволок при свивке. При сопоставлении наиболее частым местом обрывов проволок является торсион. В этом же месте происходит максимальное разупрочнение проволок за счет пиковой деформации кручения [9, 10]. Поэтому возможно оценивать в целом вероятность обрывности металлокорда через потери прочности проволок в процессе свивки.

Оценка доли каждого типа потерь тонкой проволоки при свивке была проведена на образцах ряда конструкций металлокорда. Результаты приведены в табл. 2.

Как видно из таблицы, для разных конструкций металлокорда основная доля потерь прочности приходится на потери при воздействии на проволоку комплексной деформации растяжения, изгиба и кручения, которые всегда присутствуют при свивке [4, 6, 7].

Как известно, при работе с проволокой сложно определить величину упругой и пластической деформаций при сложных видах нагружения. Поэтому многие исследователи оценивают величину полной и остаточной деформации, используя простые модели нагружения. Так, например, определяют полную и остаточную деформации проволоки по диаграмме удлинение–нагрузка или находят изменение кривизны проволоки, находящейся в свободном состоянии после навивки ее на цилиндрический стержень [8].

На рис. 3 показана зависимость потерь прочности от величины крутильной и изгибной деформации проволоки диаметром 0,30 мм, изготовленной из высококачистой стали 80 [7]. Методика определения зависимости от крутильной деформации заключалась в следующем: на торсиометре проволока длиной 500 мм подвергалась деформации кручения под растягивающей нагрузкой, равной 2% от разрывного усилия проволоки. Как видно из рисунка, потери прочности при обычно имеющих место при свивке деформациях кручения изменяются по параболической зависимости. Комбинированная схема деформации (изгиб + растяжение)

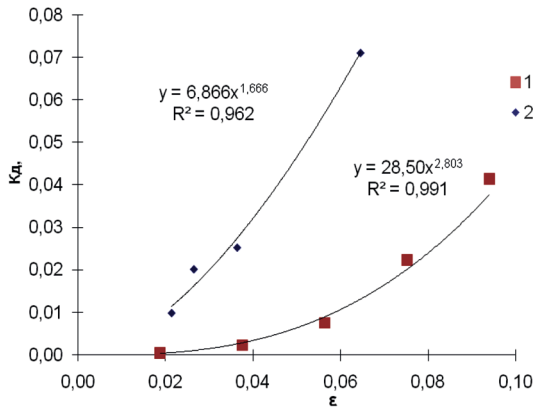


Рис. 3. Зависимость потерь прочности ( $K_d$ ) от величины крутильной и изгибной деформаций: 1 – деформация кручения; 2 – деформация изгиба

(рис. 4) оказывает большее влияние на потери прочности, чем деформация при кручении.

Судя по динамике изменения прочности проволоки, сочетание деформации изгиба с растягивающей нагрузкой 40–60 Н приводит к интенсивному разупрочнению (13%) с последующим упрочнением при дальнейшем росте растягивающей нагрузки. Предполагается, что данный эффект происходит с появлением и аннигиляцией свободных дислокаций с последующим созданием и накоплением новых. Рассмотренная схема деформирования проволоки вполне может соответствовать машинам одинарного кручения, в которых отсутствует деформация кручения проволоки вокруг своей оси. Но при производстве металлокорда на современных производствах в основном применяются высокоскоростные машины двойного кручения, которые дополнительно воздействуют на проволоку крутильными деформациями [4, 6].

Для определения степени воздействия крутильных деформаций на рис. 5 показана зависи-

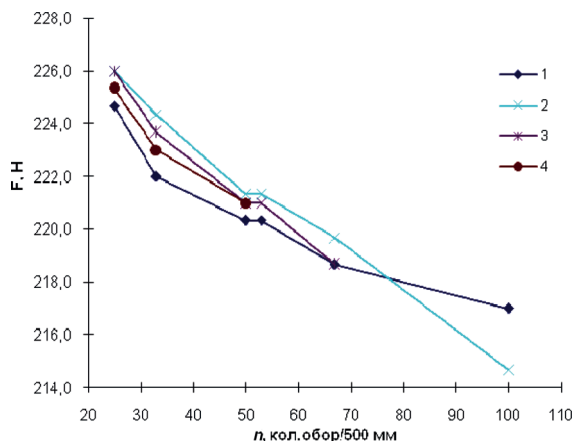


Рис. 5. Зависимость изменения прочности ( $F$ ) латунированной проволоки диаметром 0,30 мм от сложного вида деформации кручения ( $n$ ) и натяжения. Натяжения проволок ( $P_{\text{раст}}$ ): 1 – 11,4 Н; 2 – 45,6; 3 – 68,4; 4 – 91,2 Н

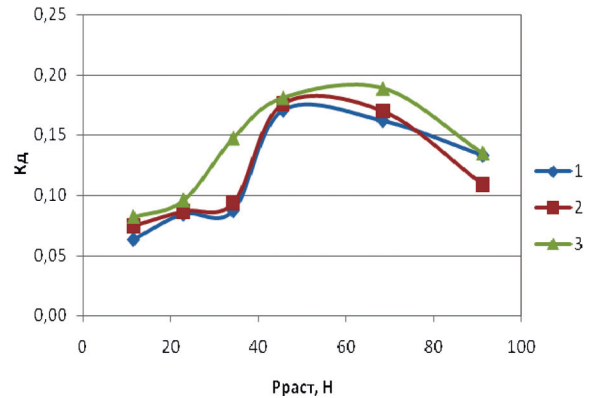


Рис. 4. Зависимость потерь прочности ( $K_d$ ) латунированной проволоки диаметром 0,30 мм от сложного вида деформации изгиба и натяжения ( $P_{\text{раст}}$ ). Радиус изгиба проволоки: 1 – 2,75 мм; 2 – 1,575; 3 – 1,200 мм

мость изменения прочности латунированной проволоки диаметром 0,30 мм от сложного вида деформации кручения и натяжения.

Судя по постоянной тенденции к снижению уровня исходной прочности волооченой проволоки, можно предположить, что деформация кручения в исследуемом диапазоне нагрузок является преобладающей по отношению к растягивающей, которая должна вести к дальнейшему упрочнению проволоки.

В стремлении производителей металлокорда к повышению уровня прочности проволок металлокорда важно спрогнозировать их поведение в условиях сложнодеформированного нагружения. Установлено, что агрегатная прочность металлокорда с увеличением временного сопротивления разрыву проволок повышается непропорционально его возрастанию. Медленный рост агрегатной прочности металлокорда обусловлен возрастанием потерь от свивки с ростом прочности используемой проволоки [11]. Для преодоления упругих свойств высокоуглеродистого материала при свивке требуется более высокий уровень деформации, что приводит к интенсивной аннигиляции дислокаций за счет большей внесенной энергии и появлению новых плоскостей скольжения. За счет снижения внутренних напряжений в проволоке после сложного нагружения снижается модуль упругости (рис. 6). Причем интенсивность снижения практически одинакова для разных диаметров проволоки из одной марки стали.

Как было сказано выше, различная комбинация схем деформации приводит к различному уровню прочности проволок после свивки. На рис. 7, 8 показаны динамика изменения прочности сверхвысокопрочной проволоки диаметром 0,20 мм от шага свивки и величины растягивающих усилий. Для более полной имитации условий свивки на



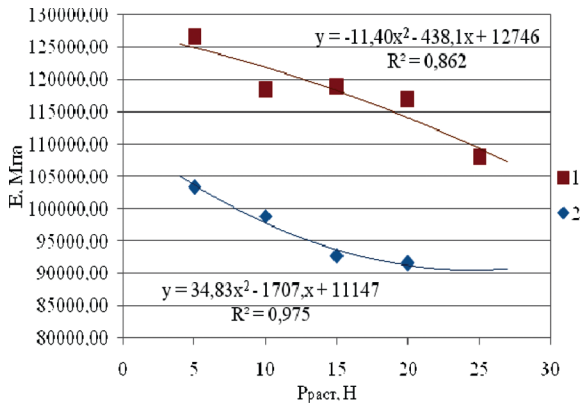


Рис. 6. Изменение модуля упругости проволоки 0,20 ST и 0,30 ST от усилия натяжения при сложной деформации в процессе свивки: 1 – диаметром 0,20 мм; 2 – диаметром 0,30 мм

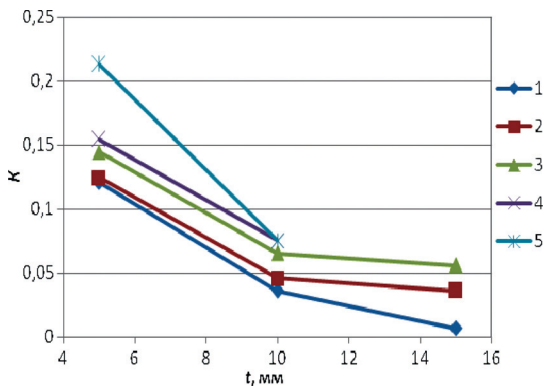


Рис. 7. Изменение потерь прочности (K) проволок 0,20 ST от шага свивки (t). Растягивающая нагрузка: 1 – 5 Н; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25 Н

машине двойного кручения каждая проволока подвергалась подкручиванию на угол  $2\pi$  на длине шага свивки.

Более общее представление о влиянии сложных видов деформации показано на рис. 9. К сожалению, по уровню полной деформации довольно сложно анализировать отличие способов свивки и их влияние на потери прочности. Требуется учитывать доли участия того или иного вида деформации, чтобы научиться управлять технологическим процессом. Основной проблемой свивки из высокопрочной проволоки является высокая обрывность, обусловленная значительными деформациями кручения и обычно более высоким уровнем натяжения.

### Выводы

1. Рассмотрены составляющие потерь прочности проволок. На примере металлокорда 3x0,30 и 3x0,30 НТ показана доминирующая роль деформации в потери прочности.

2. Выявлено, что основным видом деформации, влияющим на разупрочнение, является деформация изгиба. Совместная деформация изгиба

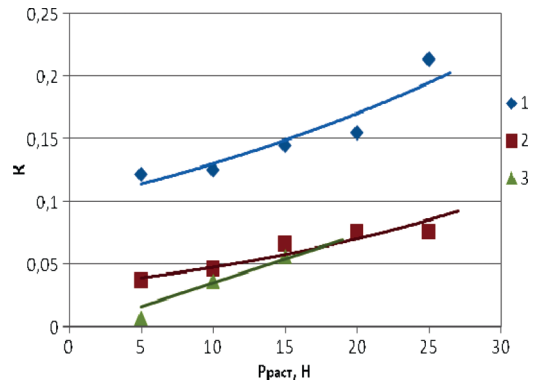


Рис. 8. Изменение потерь прочности (K) от натяжения проволок 0,20 ST при свивке ( $P_{раст}$ ). Шаг свивки: 1 – 5 мм; 2 – 10; 3 – 15 мм

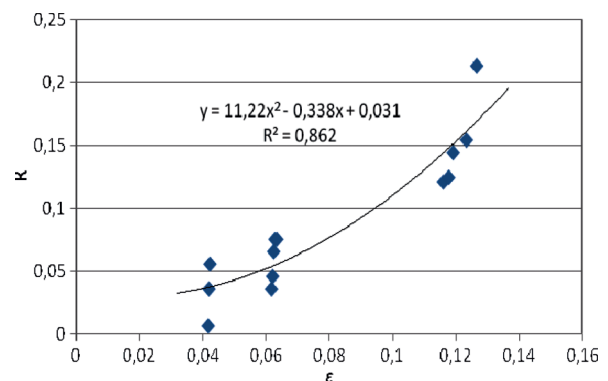


Рис. 9. Зависимость потерь прочности (K) проволоки 0,20 ST от величины полной деформации (ε)

с растяжением на примере высокопрочной проволоки диаметром 0,30 мм имеет ярко выраженный экстремум, зависящий от соотношения деформации изгиба к деформации растяжения.

3. Совместная деформация кручения с растяжением приводит к росту потерь прочности (и вероятности обрывов проволоки), но менее интенсивно, чем изгиб+растяжение.

4. Сложные виды деформации для волоочной проволоки снижают модуль упругости материала, делая ее более пригодной для деформации свивки.

5. Рассмотрено влияние технологических параметров деформации на потери прочности на примере сверхвысокопрочной проволоки диаметром 0,20 мм. Показано отличие влияния отдельно взятых видов деформации от влияния суммарного воздействия на потери прочности.

6. Наиболее целесообразным является максимальное снижение деформации кручения, чтобы приблизиться к схеме деформации одинарного кручения. Имитацию одинарной свивки при этом возможно осуществить на машинах двойного кручения с ротационной размоткой проволоки. В настоящее время на БМЗ такими машинами являются машины DV3TIR (фирма «Barmag»). Существует возможность регулировать направление и угол

подкручивания проволоки, устраняя при этом упругие крутящие моменты. Это позволяет снизить уровень натяжения по сравнению с аналогичными машинами DV3TI (фирма «Barmag»), имеющими стационарную размотку, что ведет к снижению обрывности при свивке.

### Литература

1. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Веденеев А. В. Снижение обрывности проволоки при свивке из нее прядей и металлокорда на свивальных машинах двойного кручения // Черная металлургия. 1991. № 1. С. 62–63.
2. 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.
3. Немудрый Б. А. Оборудование для свивки металлокорда // Обзорная информация. М.: Черметинформация, 1980. Сер. 9. Вып. 2.
4. Феоктистов Ю. В. Разработка и внедрение технологии производства металлокорда методами многократной деформации кручения. Дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1992.
5. Владимиров Ю. В. Новое поколение высокоскоростных прядевьющих свивальных машин // Обзорная информация. М.: АО «Черметинформация». Сер. Метизное производство, 1993. Вып. 1.
6. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Игнатъев С. Н. Расчеты параметров свивки металлокорда. Минск: Белоргстанкопромиздат, 1996.
7. Веденеев А. В., Желтков А. С., Филиппов В. В. Анализ деформаций элементов витых структур и их влияние на потери прочности при производстве металлокорда // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2000. № 3. С. 23–27.
8. Филиппов В. В., Степаненко А. В., Веденеев А. В., Крымчанский И. И. Методика определения кривизны и кручения проволоки после свивки в металлокорд // Сб. науч. тр. «Металлургия». Мн.: БНТУ, 2002. № 26. С. 168.
9. Фетисов В. П. Природа изменения свойств холоднодеформированной проволоки в процессе свивки высокопрочного металлокорда // Сб. науч. тр. «Металлургия и литейное производство». Минск, 1997. С. 8–10.
10. Бирюков Б. А., Веденеев А. В., Панасенко В. С. Исследование влияния основных технологических факторов на потери прочности латунированной проволоки в результате свивки в односторонний металлокорд // Совершенствование технологических процессов на Белорусском металлургическом заводе. 1994. С. 28–32.
11. Голомазов В. А., Бирюков Б. А., Соколов Н. В. Свойства металлокорда // Метизное производство. 1973. Сер. 9. Вып. 4.