



Influence of technological parameters of deformation on solidity losses at the example of super-strength wire with diameter 0,20 mm is considered. Difference of influence of separate types of deformation from influence of summation influence on solidity losses is shown.

Б. А. БИРЮКОВ, Ю. В. ФЕОКТИСТОВ, А. В. ВЕДЕНЕЕВ, ОАО «БМЗ»

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. 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 обеспечиваются 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.

Дефекты проволочного передела (в основном электроэрозия, риски, несплошности покрытия) проявляются в большей степени на свивальных машинах одинарного кручения СД 2/6 + 1 и СД 2/2 + 1. Основной вид механической 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, имеет значение и состояние самих свивочных машин.

Все указанные факторы не влияют на обрывность на свивальных машинах мод. Ri и RiR фирмы «Varmag» (Германия), которые отличаются более благоприятными условиями размотки и деформирования проволоки при свивке.

Путем сравнения случаев обрывности на оборудовании различных типов установлено, что основное число обрывов приходится на свивочные

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					
Ri и RiR	–	0,034 (4,93)	–	0,034	1,85
Итого	0,906 (100)	0,69 (100)	0,244 (100)	1,84	100

машины мод. ТД 2/401. Данные по обрывности проволоки при свивке металлокорда в виде прядей различных конструкций на свивочных машинах мод. ТД 2/401 приведены в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение обрывности для разных конструкций металлокорда на машинах ТД 2/401

Конструкция	4x0,18	3x0,15
Количество обрывов от их общего числа:		
• частичных	69,46	74,10
• полных	30,54	25,9
Потеря производительности свивочных машин, %	16,0	17,46

Таким образом, при свивке металлокорда в виде пряди конструкций 4x0,18 и 3x0,15 преобладающими являются частичные обрывы (69,46 и 74,1%) по сравнению с полными обрывами изделия (30,54 и 25,9% соответственно). Это вызывает существенные потери производительности свивальных машин на 16,0 и 17,46% соответственно. Единичные обрывы наблюдаются в основном после торсионного узла свивальной машины, поэтому распознать, на какой катушке находится дефектный металл, не представляется возможным.

Исследованы также силовые условия свивки проволок в пряди и металлокорд различных конструкций на машинах мод. ТД 2/401. При этом перед их вытяжным шкивом измеряли статическое (при остановленной крутильной части) и динамическое натяжения при размотке проволоки. Резуль-

таты замеров усилия разрыва свиваемого элемента натяжения проволоки (пряди) при размотке непосредственно с питающей катушки приведены в табл. 3.

Установлено, что статическое натяжение перед вытяжным шкивом почти в 2 раза превышает усилие натяжения $P_{\text{вых}}$ при размотке проволоки с отдающей катушки и составляет 12,2–23,09 % от разрывного усилия проволоки [1]. На рис.1 показана схема движения проволоки по проводковой системе машины мод. ТД 2/401. Из рисунка видно, что статическая нагрузка на проволоку возрастает в результате ее перегиба на роликах проводковой системы и от трения о поверхность салазок на крутильных частях; наибольший прирост нагрузки (на 55%) происходит на роликах рычага компенсирующего устройства и обводных до очага свивки; значительные потери на трение металлокорда о направляющую арматуру наблюдаются на второй по ходу салазке крутильной части машины.

В процессе свивки вращающаяся нить металлокорда отбрасывается центробежной силой и обрывает «баллон», размеры которого ограничены условием необходимости контакта нити в точках 7 (рис. 1) с крутильной частью. Давление в этих точках зависит от натяжения каждой проволоки и понижается с увеличением частоты вращения нити, однако ее натяжение возрастает. При этом среднее динамическое натяжение $Q_{\text{вых}}$ незначительно превышает статическое $P_{\text{вых}}$ на разных свивальных машинах и изменяется от 0,5 до 1,5 $P_{\text{вых}}$ (табл. 3).

Таблица 3. Сравнение динамического и статического натяжений металлокорда и пряди различных конструкций [1]

Конструкция металлокорда	Статическое натяжение, Н		Усилие разрыва для свиваемого элемента, Н	Доля усилия разрыва	Среднее динамическое натяжение на выходе из свивальной машины (при положении стрелки тензометра), Н	Доля от усилия разрыва, %
	отдающих катушек	на выходе из машины или вытяжным шкивом				
3x0,22	9±1	18±1	93,15	19,32	20±3	21,47
3x7x0,22 HE	45±2	77,5±2	635,14	12,20	90±4	14,17
4x0,18	6,25±1	12,5±1	59,8	20,9	14±3	23,41
3x0,15	5±1	10±1	43,3	23,09	11,25±3	25,98
3x0,18	6,25±1	12,5±1	59,8	20,9	14,1±3	23,58
4x0,22	9±1	18±1	93,15	19,32	20,25±3	21,74
3x0,20	8±1		76,97	20,79	18±3	23,39

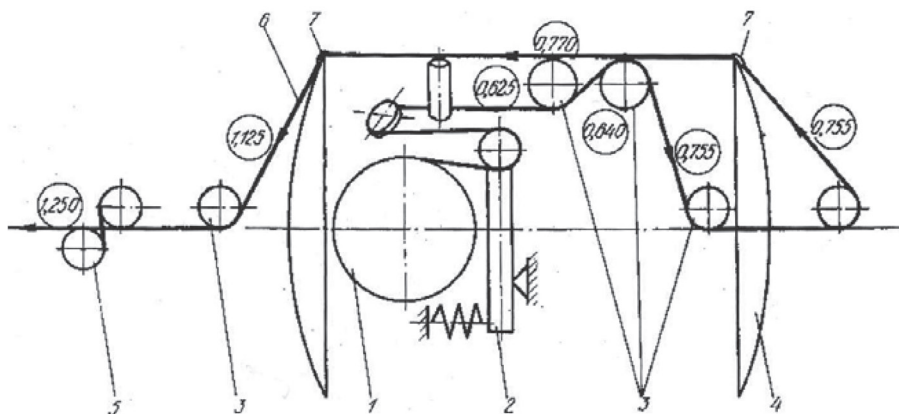


Рис. 1. Схема свивальной машины ТД 2/401 и статические нагрузки (цифры в кружках (Н)) на свиваемый элемент витого изделия конструкции 4x0,18: 1 – питающая катушка; 2 – компенсирующее устройство; 3 – обводные ролики; 4 – лопаточные колеса; 5 – торсионный узел; 6 – проволока диаметром 0,18 мм; 7 – салазки

Исследования показали, что указанные колебания, а соответственно и обрывность проволоки больше на специально неотлаженном оборудовании.

Снижению обрывности проволок может способствовать уменьшение величины укрупнения проволок на шаге свивки за счет использования ротационной размотки для регулируемой подкрутки проволок, схема которой представлена на рис. 2 [5, 6].

Проволока или прядь, разматываясь с катушки 1, сначала направляется против хода машины, получая первичную подкрутку со скоростью w_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 проволока или пряди формируются в структуру металлокорда в распределительном шаблоне 6 и направляются в конус свивки в формирующих плашках 7 и образуют витую структуру определенной конструкции, которая протягивается со скоростью $V_{св}$ и вращается со скоростью w_p ро-

тором 9 крутильной части машины. Затем металлокорд проходит по «баллону» и поступает в ротор 11, где получает дополнительную подкрутку до готового шага.

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

$$t_k = \frac{t_n t_{mk}}{t_{mk} \pm t_n \left(1 \mp \frac{w_n}{w_p} \right)},$$

где t_k – конечный шаг свивки пряди в металлокорде; t_n – начальный шаг свивки пряди до свивки в металлокорд; t_{mk} – шаг свивки металлокорда; $t_{mk} + t_n$ – направление свивки металлокорда и пряди совпадают; $t_{mk} - t_n$ – разное направление свивки металлокорда и пряди; $1 + \frac{w_n}{w_p}$ – разное направление вращения свивочного ротора и ротационной размотки; $1 - \frac{w_n}{w_p}$ – направление роторов совпадает.

На рис. 3 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.

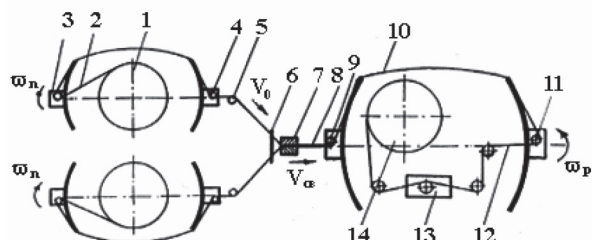


Рис. 2. Кинематическая схема свивочной машины двойного кручения с внешним расположением питающих катушек и узлом подкрутки проволок: 1 – питающая катушка; 2 – проволока; 3 – первичная подкрутка; 4 – вторичная подкрутка; 5 – направляющие ролики; 6 – распределительный шаблон; 7 – плашки; 8 – витая структура;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

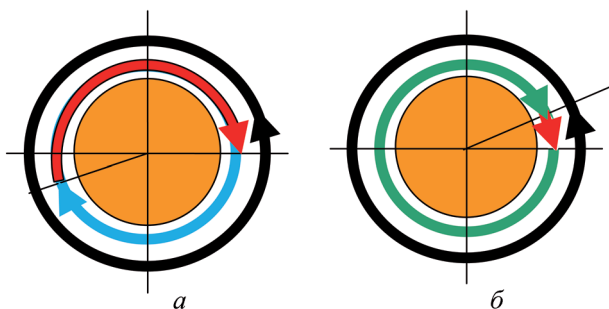


Рис. 3. Направление действия упругих крутящих моментов на проволоках (красный цвет) при полной деформации кручения проволок при свивке в металлокорд (черный цвет): *a* – после пластической деформации при кручении (синий цвет); *b* – после предварительной подкрутки (зеленый цвет); *a* – обычная машина двойной свивки; *b* – машина двойной свивки с регулируемой степенью подкручивания проволок (ротационная размотка)

Кроме того, актуальным стала возможность регулирования степени деформации на проволоки с помощью ротационных размоток при изготовлении компактных конструкций металлокорда и при 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 важным использование минимальной деформации кручения является при производстве высокопрочных материалов, которые впоследствии подвергаются сложно деформированному 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 различными, которые в некоторых случаях

могут привести к разрушению проволок при свивке. При сопоставлении наиболее частом месте обрывов в торсионе и максимальном разупрочнении проволок за счет пиковой деформации кручения [8, 9] можно в целом вероятность обрывности металлокорда оценивать через потери прочности волооченой проволоки.

Оценка доли каждого типа потерь волооченой проволоки при свивке была проведена на образцах ряда конструкций металлокорда. Результаты приведены в табл. 4.

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

Как известно, при работе с проволокой трудно определить величину упругой и пластической деформаций при сложных видах нагружения. Поэтому многие исследователи оценивают величину полной и остаточной деформаций, 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 (рис. 4).

На рис. 4 показана зависимость потерь прочности от величины крутильной и изгибной деформаций проволоки диаметром 0,30 мм, изготовленной из высококочистой 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. 5) оказывает большее влияние на потери прочности, чем деформация при кручении.

Таблица 4. Значения потерь прочности проволок для металлокорда различных конструкций

Конструкция металлокорда	Полные потери K_{Σ} , %	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

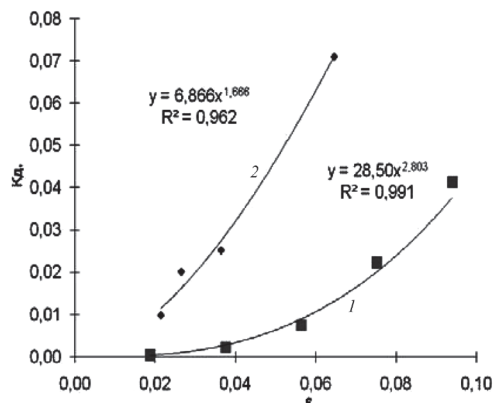


Рис. 4. Зависимость потерь прочности (K_d) от величины крутильной и изгибной деформаций: 1 – деформация кручения; 2 – деформация изгиба

Создание имитации сложной деформации производится путем отслеживания перемещения произвольной точки на поверхности проволоки из реальных кинематических зависимостей процесса деформационной обработки проволоки. Чем выше упругие характеристики проволоки, тем больше будет отмечено перемещение точки.

На рис. 5 показана зависимость изменения исходной прочности волооченой проволоки диаметром 0,30 мм под воздействием совместной деформации растяжения с изгибом.

Судя по динамике изменения прочности проволоки, сочетание деформации изгиба с растягивающей нагрузкой 40–60 Н приводит к интенсивному разупрочнению (13%) с последующим не менее интенсивным упрочнением. 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 изменение прочности волооченой проволоки на рис. 6 показана зависимость 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, кото-

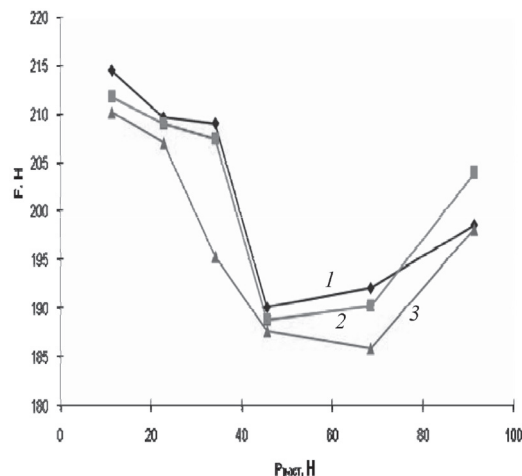


Рис. 5. Зависимость изменения прочности (F) латунированной проволоки диаметром 0,30 мм от сложного вида деформации изгиба и натяжения ($P_{рас}$). Радиус изгиба проволоки: 1 – 2,75 мм; 2 – 1,575; 3 – 1,200 мм

рая должна вести к дальнейшему упрочнению проволоки.

В стремлении производителей металлокорда к повышению уровня прочности проволок металлокорда важно спрогнозировать их поведение в условиях сложно-деформированного 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 [10]. 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. 7). Причем интенсивность снижения практически оди-

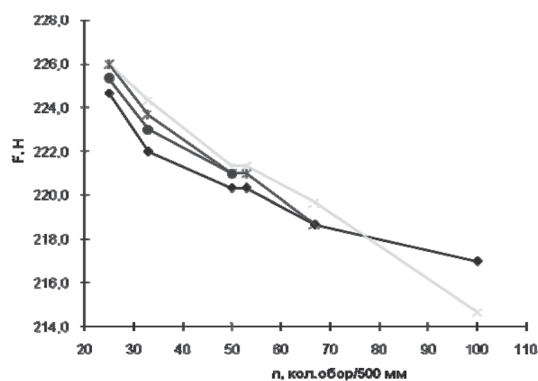


Рис. 6. Зависимость изменения прочности (F) латунированной проволоки диаметром 0,30 мм от сложного вида деформации кручения (n) и натяжения. Натяжения проволок ($P_{рас}$): 1 – 11,4 Н; 2 – 45,6; 3 – 68,4; 4 – 91,2 Н

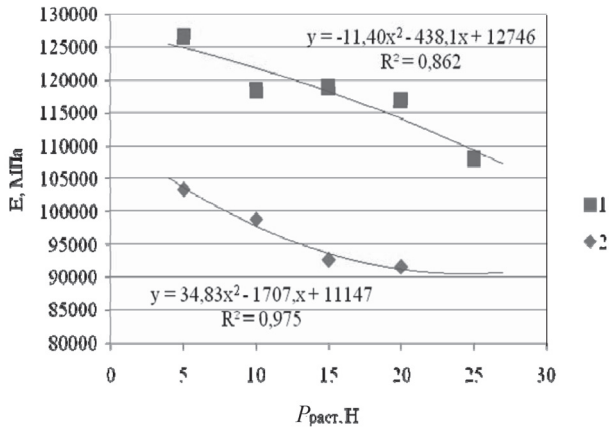


Рис. 7. Изменение модуля упругости проволоки 0,20 ST и 0,30 ST от усилия натяжения при сложной деформации в процессе свивки: 1 – диаметр 0,20 мм; 2 – диаметр 0,30 мм

накова 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. 8, 9 показаны динамика изменения прочности сверхвысокопрочной проволоки диаметром 0,20 мм от шага свивки и величины растягивающих усилий. Для более полной имитации условий свивки на машине двойного кручения каждая проволока подвергалась подкручиванию на угол 2π на длине шага свивки.

Зависимости, приведенные на рис. 8, 9, являются полезными для разработки технологических параметров настройки свивочных машин. Более общее представление о влиянии сложных видов деформации показано на рис. 10.

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

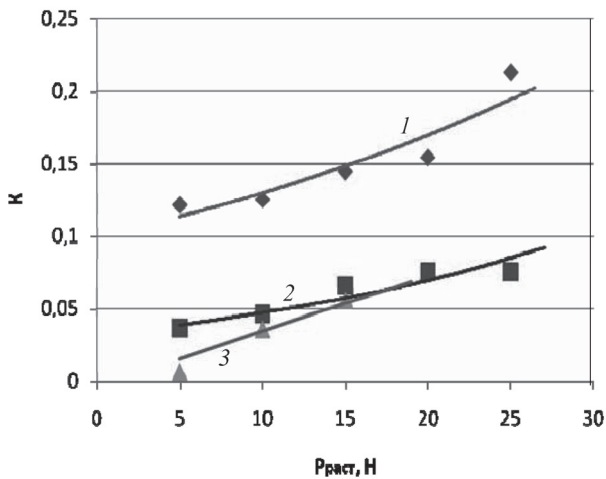


Рис. 9. Изменение потерь прочности (K) от натяжения проволок 0,20 ST при свивке ($P_{рас}$). Шаг свивки: 1 – 5 мм; 2 – 10; 3 – 15 мм

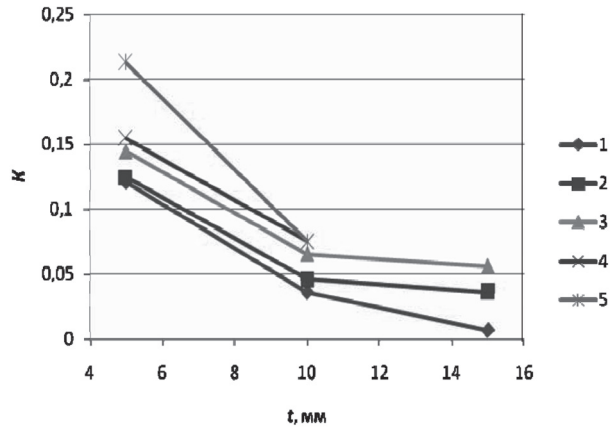


Рис. 8. Изменение потерь прочности (K) проволок 0,20 ST от шага свивки (t). Растягивающая нагрузка: 1 – 5 Н; 2 – 10; 3 – 15; 4 – 20; 5 – 25 Н

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.

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

Выявлено, что основным видом деформации, влияющим на разупрочнение, является деформация изгиба. Совместная деформация изгиба с растяжением на примере высокопрочной проволоки диаметром 0,30 мм имеет ярко выраженный экстремум, зависящий от соотношения деформации изгиба к деформации растяжения.

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

Сложные виды деформации для волоочной проволоки снижают модуль упругости материала, делая его более пригодным для деформации свивки.

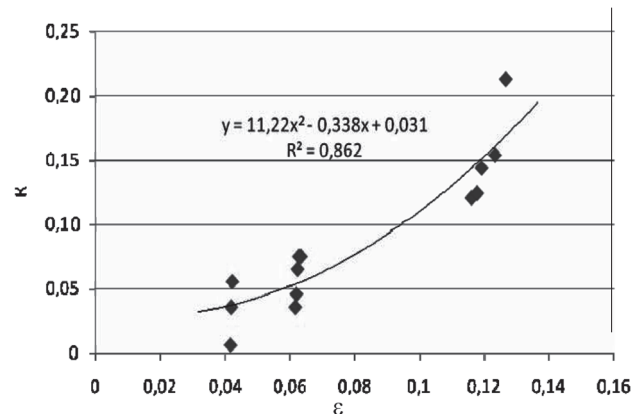


Рис. 10. Зависимость потерь прочности (K) проволоки 0,20 ST от величины полной деформации (ϵ)

Также в работе 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.

Наиболее целесообразным является максимальное снижение деформации кручения, чтобы приблизиться к схеме деформации одинарного кручения. Имитацию одинарной свивки при этом

возможно осуществить на машинах с ротационной размоткой проволоки. В настоящее время на БМЗ такими машинами являются машины DV3TIR. Существует возможность регулировать направление и угол подкручивания проволок, устраняя при этом упругие крутящие моменты. Это позволяет снизить уровень натяжения по сравнению с аналогичными машинами DV3TI (Ri-10), 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 ее 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. Мн.: Белорганкопромиздат, 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. 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.
9. 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.
10. Голомазов В. А., Бирюков Б. А., Соколов Н. В. Свойства металлокорда // Метизное производство. 1973. Сер. 9. Вып. 4.