

УДК 621.771

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ОСЕВОГО РАСТЯЖЕНИЯ ТОНКОЙ ПРОВОЛОКИ НА ПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ МЕТАЛЛОКОРДА

**Ю. Л. БОБАРИКИН, М. Н. ВЕРЕЩАГИН, С. В. АВСЕЙКОВ,  
Ю. В. МАРТЬЯНОВ**

*Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого»,  
Республика Беларусь*

**А. В. ВЕДЕНЕЕВ, И. Н. РАДЬКОВА**

*ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК»*

### **Введение**

Металлокорд представляет собой конструкцию скрученных между собой в определенном порядке тонких проволок. При этом необходимо рассматривать формирование неравномерностей деформации в процессе волочения тонкой проволоки и в процессе свивки ее в металлокорд на канатных машинах.

При волочении исходная проволочная заготовка протягивается через ряд волок, уменьшаясь в поперечном сечении с одновременным удлинением, причем на степень и характер деформации проволоки влияют полуугол деформирующей зоны волоки и степень обжатия проволоки. Чем выше обжатие, тем больше неравномерность деформации в слоях проволоки [1], [2]. При волочении в поперечном сечении выделяются два слоя – центральный слой в области растяжения, периферийный слой – в области сжатия [3]. В итоге внутренние слои проволоки наиболее продеформированы в осевом направлении, а периферийные – наименее [4], что способствует развитию остаточных напряжений и их проявлению в эффекте «памяти формы».

В процессе свивки проволоки на канатных машинах в зависимости от конструкции металлокорда в проволоке могут возникать дополнительные напряжения изгиба по спиральной траектории вокруг центра металлокорда. Разная степень деформаций отдельных проволок металлокорда и, следовательно, упрочнения влечет за собой неоднородные механические свойства проволоки, которые оказывают влияние на возникающие в ней остаточные напряжения. Данные напряжения проявляются с течением времени после намотки на катушку. По истечении некоторого времени возникает эффект релаксации остаточных напряжений в проволоке, приводящий к эффекту «запоминания» свернутого состояния металлокорда формы катушки, и как результат – большему отклонению от прямолинейности [5].

Целью работы является исследование влияния степени осевого растяжения проволоки в потоке волочильного стана на прямолинейность проволоки и металлокорда.

### **Методика эксперимента**

Исследования проводились на проволоке 0,35 НТ из стали 80К, изготовленной волочением в производственных условиях со скоростью волочения 12 м/с. Полученная проволока подвергалась дополнительному растяжению на разрывной машине INSTRON 5969. Длина образца проволоки для дополнительного растяжения состав-

ляет  $l_0 = 600$  мм. Скорость растяжения проволоки составляла 10 мм/мин. При этом определялись механические свойства исследуемой проволоки. Основные механические характеристики проволоки представлены в табл. 1.

Таблица 1

### Основные механические характеристики проволоки 0,35 НТ из стали 80К

Номер образца	Предел прочности, МПа	Условный предел текучести, МПа	Модуль упругости, ГПа
1	3128,98	2945,25	191,63
2	3133,98	2849,23	197,18
3	3156,06	2815,07	198,16
<b>Среднее</b>	<b>3139,67</b>	<b>2869,85</b>	<b>195,66</b>

После определения механических свойств тонкой проволоки определялся диапазон изменения величины дополнительного растяжения проволоки. Шесть пар образцов нагружались до фиксированного значения дополнительной растягивающей нагрузки  $\sigma_{\max}$ , которая пропорциональна пределу прочности проволоки  $\sigma_b$  (табл. 2).

Таблица 2

### План нагружения проволоки при дополнительном растяжении

Номер пар образцов	Дополнительная растягивающая нагрузка ( $\sigma_{\max}/\sigma_b$ )
0	1
1	0,6
2	0,7
3	0,8
4	0,9
5	0,98

Растянутая проволока свивалась в конструкцию металлокорда  $2 \times 0,35$  НТ на лабораторном стенде для имитации процесса свивки (рис. 1).

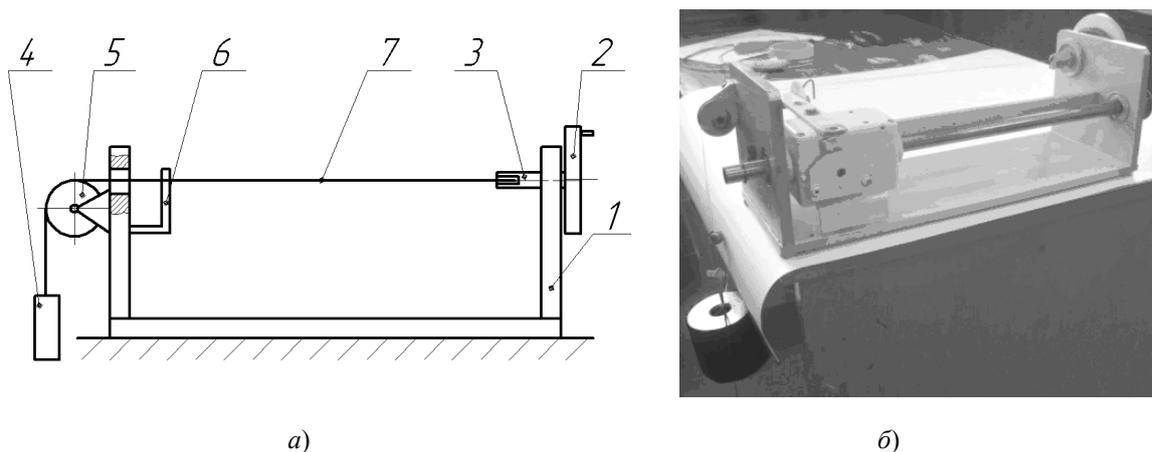


Рис. 1. Лабораторный стенд для свивки проволоки:  
 а – кинематическая схема: 1 – станина; 2 – маховик; 3 – зажим; 4 – груз;  
 5 – ролик; 6 – шаблон; 7 – проволока; б – лабораторный стенд

Шаг свивки определяется количеством оборотов маховика на фиксированной длине проволок между маховиком и упором на шаблоне. При шаге  $t = 14$  это соответствует 20 оборотам. Для имитации условий свивки в торсоне проводилось дополнительно 10 оборотов в том же направлении вращения и 10 – в обратном. Выдержка проволоки после осевого напряжения и проволочек в свитом состоянии осуществлялась на катушке диаметром 80 мм. Отклонение от прямолинейности определялись с помощью сканирующего устройства и компьютерных редакторов цифровой графики. Оценка прямолинейности проводилась согласно схеме, приведенной на рис. 2.

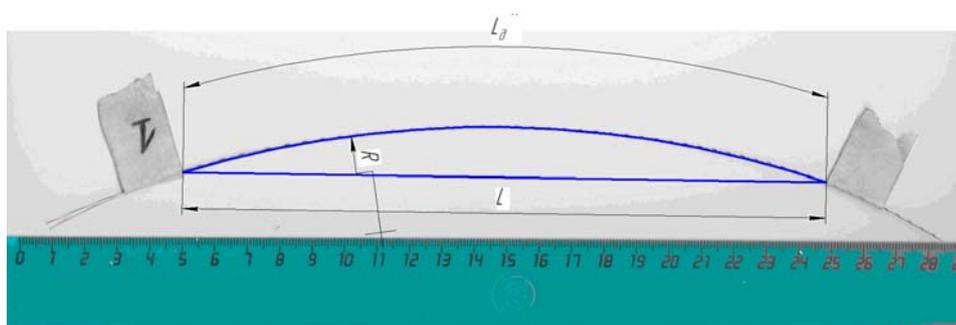


Рис. 2. Схема измерения параметров отклонения от прямолинейности проволоки и свитой проволоки (металлокорда)

Расчет отклонения от прямолинейности  $\Delta$  проволок и свитой проволоки (металлокорда) определяли по следующей формуле:

$$\Delta = R - \sqrt{R^2 - (L/2)^2}, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус дуги изгиба, мм;  $L$  – база определения дуги прогиба, мм.

Изменение прямолинейности проволоки до и после выдержки на катушке оценивалось в течение одних и трех суток.

### Обсуждение результатов

Качественное сравнение прямолинейности проволок (рис. 3) позволяет сделать заключение, что рост растягивающих нагрузок в тонкой проволоке повышает ее прямолинейность после снятия нагрузки.

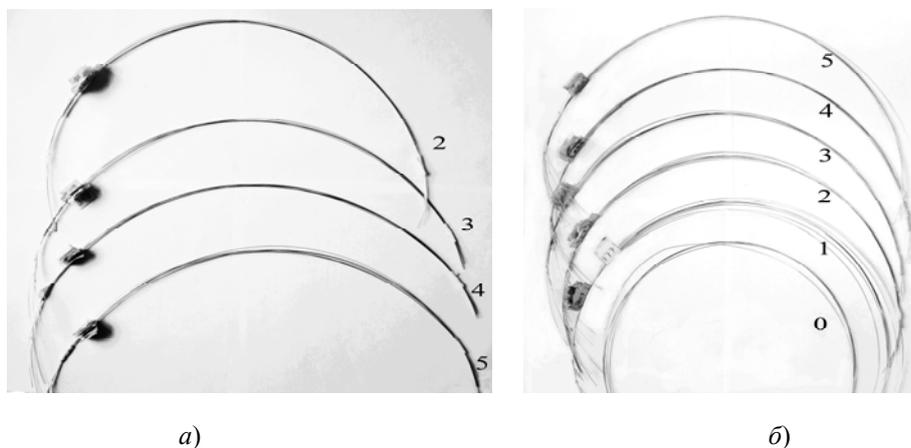


Рис. 3. Сравнение изменения прямолинейности проволоки:

$a$  – после растяжения;  $b$  – после растяжения и выдержки на катушке в течение одних суток:  $0$  – проволока без растяжения;  $1$  – растяжение с максимальным усилием  $\sigma_{\max} = 0,6\sigma_b$ ;  $2$  –  $\sigma_{\max} = 0,7\sigma_b$ ;  $3$  –  $\sigma_{\max} = 0,8\sigma_b$ ;  $4$  –  $\sigma_{\max} = 0,9\sigma_b$ ;  $5$  –  $\sigma_{\max} = 0,98\sigma_b$

На рис. 4 показано изменение отклонения от прямолинейности металлокорда  $2 \times 0,35$  НТ, свитого из проволоки, с различной степенью дополнительного осевого растяжения на лабораторном стенде имитации свивки.

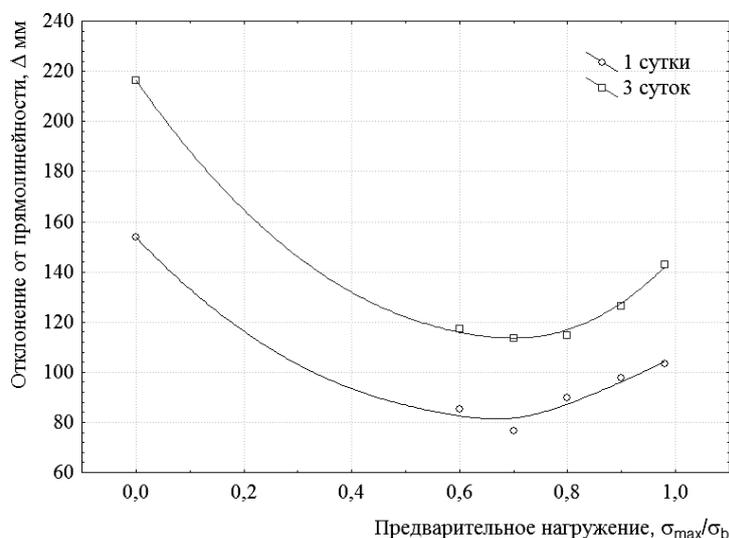


Рис. 4. Изменение прямолинейности металлокорда  $2 \times 0,35$  НТ в зависимости от степени дополнительного осевого растяжения

Анализ графиков на рис. 4 показывает, что растяжение проволоки в диапазоне растяжения 65–75 % от предела прочности  $\sigma_b$  тонкой проволоки повышает прямолинейность металлокорда. Это связано со снижением остаточных напряжений в проволоке после растяжения. При этом с увеличением времени выдержки свитых проволок на катушке увеличивается их отклонение от прямолинейности для всех режимов дополнительного растяжения проволоки.

Результаты расчета отклонений от прямолинейности свитых проволок представлены в табл. 3.

Таблица 3

#### Результаты изменения отклонения от прямолинейности

Выдержка	Осевая нагрузка, % от $\sigma_b$					
	0	60	70	80	90	98
1 сутки	155,9	105,2	69,5	89,9	97,7	103,4
3 суток	218,3	138,8	113,4	114,8	126,4	142,9

Наименьшие значения отклонения от прямолинейности металлокорда в течение всего времени выдержки на катушке находятся в диапазоне растяжения проволоки 0,65–0,75  $\sigma_b$ .

Результаты свидетельствуют о том, что для повышения прямолинейности тонкой проволоки после ее волочения и металлокорда, свитого из нее, необходимо создать дополнительные растягивающие осевые напряжения в тонкой проволоке после волочения. Величина дополнительного растягивающего осевого напряжения в тонкой проволоке после волочения должна составлять около 70 % от ее предела прочности.

Для достижения растягивающих напряжений в проволоке в рекомендованном диапазоне (65–75 %) от предела прочности в потоке стана тонкого волочения необходимо изменить кинематическую схему рассогласованием скоростей тягового шки-

ва последней группы и чистового вытяжного шкива. Основной недостаток данного мероприятия заключается в необходимости изменять кинематику стана при смене протягиваемой проволоки. Для создания необходимых растягивающих напряжений в проволоке передаточное отношение ременной передачи для проволоки 0,35 НТ в стане тонкого волочения определяется из следующего выражения:

$$i_{70} = i + 0,7(I - i), \tag{2}$$

где  $i_{70}$  – передаточное число пары зубчатых шкивов, при котором оказывается растягивающее усилие в 70 % от предела прочности проволоки;  $I$  – ближайшее передаточное число имеющейся в производстве готовой пары зубчатых шкивов, при которой происходит обрыв проволоки;  $i$  – текущее передаточное число пары зубчатых шкивов, при котором растягивающего напряжения на проволоку не оказывается.

Испытания проводились на стане тонкого волочения с новой парой шкивов с двумя и тремя витками на чистовом тяговом барабане со скоростью 12 м/с. Изменение количества витков проволок на чистовом тяговом барабане позволяет регулировать усилие растяжения проволоки за счет изменения скольжения проволоки по поверхности тягового барабана.

В табл. 4 представлены механические свойства проволоки 0,35НТ после воздействия дополнительных растягивающих напряжений в потоке стана с измененной кинематикой.

Таблица 4

Механические свойства проволоки 0,35 НТ после растяжения на стане

Диаметр, мм	Предел прочности, $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение, $\delta$ , %	$\sigma_T/\sigma_b$	Модуль упругости, $E$ , МПа	Количество витков
0,35	2936	2,36	86	187950	1
0,35	2939	2,69	91	171770	1
0,35	2957	2,56	84	189090	1
<b>Среднее</b>	<b>2944,0</b>	<b>2,5</b>	<b>87,0</b>	<b>182936,7</b>	–
0,35	2927	2,59	87	193640	2
0,35	2950	2,48	87	195130	2
0,35	2917	2,61	87	192710	2
<b>Среднее</b>	<b>2931,3</b>	<b>2,5</b>	<b>87,0</b>	<b>193826,7</b>	–
0,35	2968	2,56	84	194730	3
0,35	2968	2,42	85	196530	3
0,35	2972	2,68	84	197720	3
<b>Среднее</b>	<b>2969,3</b>	<b>2,6</b>	<b>84,3</b>	<b>196326,7</b>	–
0,35	2936	2,75	86	196760	0
0,35	2953	2,79	86	196500	0
0,35	2939	2,45	86	197800	0
<b>Среднее</b>	<b>2942,7</b>	<b>2,7</b>	<b>86,0</b>	<b>197020,0</b>	–

Анализ табл. 4 показывает, что увеличивая количество витков на тяговом барабане, пластические свойства проволоки снижаются за счет уменьшения проскальзывания проволоки по поверхности тягового шкива и, соответственно, увеличивается растягивающее усилие по сравнению с серийной технологией волочения.

Полученная на волочильном стане с измененной кинематикой проволока была свита в образцы металлокорда стандартной конструкции  $2 \times 0,35$  НТ в лабораторных условиях. Затем лабораторные образцы были помещены на катушку для выдержки с определением отклонения от прямолинейности (табл. 5).

**Отклонения от прямолинейности металлокорда  
при выдержке в заводских условиях**

1 сутки					3 суток			
Номер	3 витка	2 витка	1 виток	Серийная	3 витка	2 витка	1 виток	Серийная
1	130,2	89,0	120,4	92,2	118,7	97,3	139,9	113,2
2	100,9	90,8	109,0	92,2	147,0	106,5	92,2	105,5
3	103,2	95,5	110,6	101,1	114,0	100,0	145,3	122,6
<b>Среднее</b>	<b>109,7</b>	<b>91,7</b>	<b>113,1</b>	<b>95,0</b>	<b>124,7</b>	<b>101,1</b>	<b>119,6</b>	<b>113,3</b>
7 суток					14 суток			
Номер	3 витка	2 витка	1 виток	Серийная	3 витка	2 витка	1 виток	Серийная
1	135,3	124,1	164,9	131,8	152,9	141,1	197,8	147,0
2	171,2	130,8	166,5	127,6	201,6	148,7	126,8	150,0
3	143,6	123,9	108,7	148,7	164,3	152,3	200,1	168,8
<b>Среднее</b>	<b>148,1</b>	<b>126,2</b>	<b>139,5</b>	<b>135,3</b>	<b>169,5</b>	<b>147,2</b>	<b>163,8</b>	<b>154,4</b>

Наименьшим отклонением от прямолинейности обладает металлокорд, изготовленный из проволоки, волочение которой осуществлялось с двумя витками на вытяжном барабане. Использование 1 и 3 витков проволоки на вытяжном барабане было осложнено настройкой кольца проволоки на волочильном стане.

На рис. 5 представлены графики изменения прямолинейности металлокорда  $2 \times 0,35$  НТ, изготовленного в лабораторных условиях.

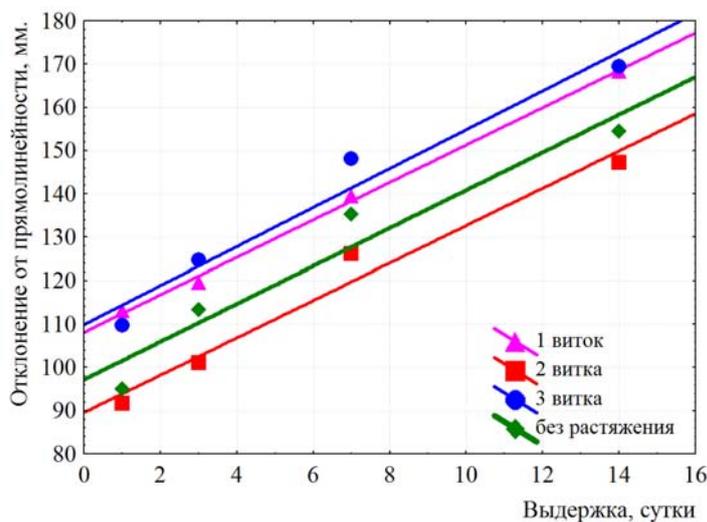


Рис. 5. Отклонение от прямолинейности металлокорда  $2 \times 0,35$  НТ, изготовленного из растянутой проволоки в лабораторных условиях

Анализ данных, представленных в табл. 5 и на рис. 5, показывает, что необходимая величина дополнительных растягивающих напряжений достигается при заправке проволоки двумя витками на чистовом тяговом барабане.

Таким образом, величину растяжения проволоки можно регулировать количеством витков проволоки на вытяжном чистовом барабане волочильного стана с измененной кинематикой.

Увеличение кинематической вытяжки в предложенном варианте по сравнению с серийной технологией составило 9,5 %. Следовательно, с учетом регулировки скольжения между проволокой и чистовым барабаном путем увеличения количества витков проволоки на этом барабане износ поверхности тягового барабана значительно не изменится.

Таким образом, дополнительное осевое растяжение проволоки в потоке волоочильного стана приводит к дополнительной пластической деформации, что снижает анизотропию остаточных напряжений внутри проволоки и уменьшает эффект релаксации напряжений и «памяти формы» при выдержке на катушке. Величина растяжения проволоки регулируется количеством ее витков на чистовом вытяжном барабане волоочильного стана с измененной кинематикой. Кроме того, дополнительное растяжение не только увеличивает прямолинейность металлокорда, но и уменьшает износ чистовой волоки.

### **Заключение**

В результате работы исследовано влияние степени осевого растяжения тонкой проволоки на прямолинейность металлокорда.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для повышения прямолинейности тонкой проволоки после ее волочения и металлокорда, свитого из нее, необходимо создать в тонкой проволоке дополнительные растягивающие напряжения. Величина дополнительного растягивающего напряжения в тонкой проволоке после волочения должна составлять около 70 % от ее предела прочности.

Проведена апробация предложенного способа повышения прямолинейности металлокорда в производственных условиях путем изменения кинематической схемы стана тонкого волочения.

### **Литература**

1. Влияние схемы холодной деформации и режима старения на релаксационную стойкость упрочненной малоуглеродистой стали / Ю. П. Гуль [и др.] // Сталь. – 2011. – № 10. – С. 44–47.
2. Деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // Литье и металлургия. – 2012. – № 4. – С. 101–106.
3. Сторожев, М. В. Теория обработки металлов давлением : учеб. для вузов / М. В. Сторожев, Е. А. Попов. – изд. 4-е, перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1997. – 423 с.
4. Аркулис, Г. Э. Теория пластичности : учеб. пособие для вузов / Г. Э. Аркулис, В. Г. Дорогобид. – М. : Металлургия, 1987. – 382 с.
5. Стальная проволока : монография / Х. Н. Белахов [и др.]. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2011. – 689 с.
6. Kazunagi, Y. Правка тонкой проволоки растяжением и роликовая правка / Y. Kazunagi // ОАО «Черметинформация». Новости черной металлургии за рубежом. – 2010. – № 4. – С. 64–66.
7. Способ производства нитей для изготовления стального корда и устройство для их производства : пат. 2007–118067 Япония / Сасакура Нобухико ; заявитель Канаи Хироаки Преф. Хего, Асияси-си, Яманотэ-мати. – № 2005–317120 ; заявл. 31.10.2005 ; опубл. 17.05.2007.

*Получено 16.10.2015 г.*