

МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ И МЕТАЛЛОКОРДА ПРАВИЛЬНО-РИХТОВАЛЬНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

² О. Ю. Ходосовская, ¹ Ю. Л. Бобарикин, ¹ Ю. В. Мартьянов

¹ Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого,
г. Гомель, Республика Беларусь

² ОАО «БМЗ – УКХ «БМК», г. Жлобин, Республика Беларусь

На отклонение от прямолинейности металлокорда влияет уровень и распределение остаточных напряжений. Одним из эффективных способов снижать остаточные напряжения в металлокорде является использование знакопеременного изгиба металлокорда. Представлена схема знакопеременного изгиба металлокорда на деформирующем ролике. Произведена оценка влияния на отклонение от прямолинейности сложной конструкции металлокорда диаметра деформирующего ролика с помощью критерия комплексной оценки. Представлены результаты эксперимента, полученные при изготовлении металлокорда с использованием деформирующих роликов. Определены диаметры деформирующих роликов, позволяющие снизить отклонение от прямолинейности металлокорда сложной конструкции.

Ключевые слова: проволока, металлокорд, эквивалентные остаточные напряжения, кривизна, отклонение от прямолинейности

METHODS FOR HIGH-CARBON WIRE AND STEEL CORDE PROCESSING WITH STRETCHING DEVICES

² O. Yu. Khodosovskaya, ¹ Yu. L. Bobarikin, ¹ Yu. V. Martyanov

¹ Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoi,
Gomel, Republic of Belarus

² OJSC «BSW – management company of «BMC» holding»,
Zhlobin, Republic of Belarus

The deviation from the straightness of the steel cord is affected by the level and distribution of residual stresses. One of the effective ways to reduce residual stresses in the steel cord is the use of alternating metal cord bending. A scheme of alternating metal cord bending on a deforming roller is presented. The influence of the diameter of the deforming roller on the deviation from straightness of the complex design of the metal cord was assessed using the criterion of a comprehensive assessment. The results of the experiment obtained in the manufacture of steel cord using deforming rollers are presented. The diameters of the deforming

rollers are determined, which make it possible to reduce the deviation from the straightness of the metal cord of a complex design.

Key words: wire, steel cord, equivalent residual stresses, curvature, deviation from straightness

¹ e-mail: bobarikin@outlook.com, you_rock@tut.by

² e-mail: gsp.icm@bmz.gomel.by

В процессе свивки металлокорда тонкая проволока, проходя через множество роликов, находится в сложном напряжённо-деформированном состоянии. При этом напряжённо-деформированное эквивалентное состояние металлокорда неравновесное. Такое состояние способствует возникновению остаточных напряжений внутри проволок металлокорда.

Остаточными или технологическими называют напряжения, существующие в конструкции или в отдельных ее элементах при отсутствии внешних силовых, тепловых и других воздействий. В технике для обозначения остаточных напряжений используют также названия технологических процессов, после которых они проявляются: сварочные напряжения, закалочные напряжения, деформационные, напряжения правки или отделки продукции [1, 2]. Остаточные напряжения являются следствием неравномерности внутренних деформаций в проволоке [3]. Эти напряжения влияют на технологические свойства металлокорда [4]. Растягивающие остаточные напряжения в поверхностных слоях особенно вредны для металлоизделий, работающих при знакопеременной нагрузке, так как такие напряжения способствуют усталостному разрушению (усталостная трещина, как правило, зарождается на поверхности изделия). Образование остаточных напряжений при различных технологических процессах происходит различным образом. В основе их возникновения обычно лежат необратимые объемные изменения в материале. Одним из наиболее типичных процессов является возникновение остаточных напряжений в результате предварительной пластической деформации. С физической точки зрения образование остаточных напряжений после пластической деформации связано с необратимыми (остаточными) изменениями объема. Эти изменения объема, остающиеся после снятия нагрузки, и вызывают остаточные напряжения [1].

Анализ продольных остаточных напряжений в проволоке показывает, что растягивающие напряжения находятся в сердцевине, а сжимающие напряжения – по краям. Любое изменение параметров проволоки, включая кривизну или спиральность, по её длине приведет к изменению внутренних напряжений проволоки. Установлено, что знакопеременная деформация изменяет внутренние напряжения, существующие в материале до деформации. Величина и распределение внутренних напряжений, существующих после правки, зависят от конструкции деформационной системы [5].

Сформированные в процессе волочения остаточные напряжения – один из факторов, определяющих такие характеристики металлокорда, как усталостная прочность, склонность к релаксации напряжений, отклонение от прямолинейности. Металлокорд и тонкая проволока, предназначенная для изготовления металлокорда, относятся к группе метизной продукции, от которой требуется низкий уровень остаточных напряжений. Остаточные напряжения в металлокорде в течение примерно семи суток переходят в пластическую деформацию металлокорда, что проявляется в изменении дуги прогиба (увеличении отклонения от прямолинейности) металлокорда при его размотке с катушки перед использованием.

В современном метизном производстве влияние диаметра ролика при знакопеременном изгибе на отклонение от прямолинейности металлокорда, особенно сложных конструкций, недостаточно изучено.

Цель: исследовать влияние диаметра ролика при знакопеременном изгибе металлокорда сложной конструкции на его отклонение от прямолинейности.

Сложные конструкции металлокорда состоят из нескольких слоёв, часто имеют дополнительный сердечник и могут быть свиты из прядей, которые представляют собой металлокорд более простой конструкции.

Схема знакопеременного изгиба металлокорда на ролике представлена на рис. 1.

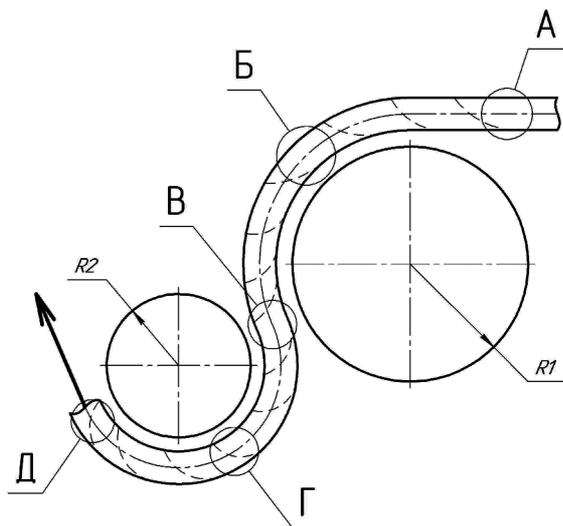


Рис. 1. Схема знакопеременного изгиба металлокорда на ролике, где R_1 – радиус направляющего ролика, R_2 – радиус ролика обратной деформации, А – фрагмент металлокорда перед изгибом на направляющем ролике, Б – фрагмент металлокорда с изгибом на направляющем ролике, В – фрагмент металлокорда между направляющим роликом и РОД, Г – фрагмент металлокорда с изгибом на ролике обратного действия, Д – фрагмент металлокорда перед намоткой на катушку

Наиболее важной в изучении является зона обратного изгиба металлокорда на деформирующем ролике.

В процессе свивки металлокорда на проволоку действуют растягивающие, крутящие и изгибающие напряжения и деформации. Эквивалентная деформация является приведенной деформацией для оценки полного деформационного воздействия на проволоку при свивке в канатной машине. По траектории свивки предусмотрены зоны больших деформаций проволоки по сравнению с остальными зонами канатной машины. В таких зонах и производятся этапы свивки проволок в металлокорд, причём деформация проволок может осуществляться в различных направлениях. Однако в абсолютном выражении суммарная эквивалентная деформация всегда возрастает. Диаметр металлокорда, разрывное усилие и другие свойства зависят от проволок и расположения их в металлокорде.

Использование эффекта знакопеременного изгиба металлокорда на ролике переопределяет картину контактных взаимодействий проволок в металлокорде. Это выражается в смещении точек контакта между проволоками в конструкции металлокорда. Дополнительно изменяются значения и распределение эквивалентных остаточных напряжений в проволоках металлокорда. Суммарный эффект знакопеременного изгиба металлокорда на ролике оценивается критерием оценки прямолинейности металлокорда S_g [6, 7].

Последовательность расчёта критерия S_g имеет вид:

$$\varepsilon\sigma_i = \frac{\sigma_i - \sigma_i - 1}{\sigma_i - 1} \cdot 100\% \quad (1)$$

$$\varepsilon\Delta_i = \frac{\Delta_i - \Delta_i - 1}{\Delta_i - 1} \cdot 100\% \quad (2)$$

где σ_i – эквивалентные напряжения изгиба, МПа;

Δ_i – осевой сдвиг точек контакта проволок в металлокорде при изгибе, мм.

$$Sg_i = \sqrt{\varepsilon\sigma_1^2 + \varepsilon\Delta_1^2} \rightarrow 0, \quad (3)$$

где Sg_i – скалярное значение суммы относительных изменений напряжений и перемещений.

По методу локальной оптимизации функции значение функции $Sg(R)$ в точке оптимального диаметра ролика должно принимать минимальные значения:

$$Sg(R) \rightarrow \min. \quad (4)$$

Согласно расчётам критерия Sg оптимальным диаметром деформирующего ролика для металлокорда сложной конструкции на примере 3+8x0,26НТ является диаметр 37–39 мм. Аналогично расчётным способом получены оптимальные диаметры деформирующего ролика: для металлокорда 3+9x0,25НТ – 38–40 мм; для металлокорда 1+5x0,40НТ – 56–58 мм; для металлокорда 2x0,30SHT – 43–45 мм;

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТАЛЛОКОРДА

Для повышения конкурентоспособности белорусского металлокорда на мировом рынке на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» постоянно ведется работа по повышению прочностных свойств металлокорда за счет более полного использования ресурса характеристик материала. В процессе отработки технологии изготовления металлокорда было определено, что для обеспечения минимального уровня отклонения от прямолинейности после релаксации напряжений в процессе свивки металлокорда необходимо использовать деформирующие ролики. Для набора статистических данных была проведена оценка изменения характеристик при изготовлении металлокорда конструкций: 3+9x0,25НТ, 3+8x0,26НТ.

Табл.

Оценка характеристик металлокорда конструкции в процессе релаксации

Конструкция металлокорда	Диаметр ролика, мм	Данные паспорта		сут. релаксации		3 сут. релаксации		7 сут. релаксации		14 сут. релаксации	
		остаточное кручение, об	стрела прогиба, мм								
3+9x0,25НТ	38	0,75	10	-1,42	19,4	-1,42	26,4	-1,25	30,8	-1,58	36,6
3+8x0,26НТ	44	0,88	10	0	32,8	-0,08	43,9	0	39,4	0,08	42,8
3+8x0,26НТ	38	0,75	16,7	-0,25	38,6	-0,38	30,8	-0,08	36,7	-0,04	33,3

Из данных табл. следует, что в процессе релаксации остаточное кручение изменялось в отрицательном направлении, причем основное изменение происходило в течение первых суток, а при последующей выдержке практически не изменялось. Дополнительно было изготовлено 5 катушек металлокорда конструкции 3+8x0,26НТ с использованием деформирующего ролика диаметром 38 мм. Имеющиеся данные по дуге прогиба свидетельствуют о положительном влиянии использования ролика обратной деформации диаметром 38 мм на свойства металлокорда для получения лучших результатов в сравнении с использованием ролика диаметром 44 мм.

Для других конструкций металлокорда были получены следующие результаты:

– 1+5x0,40НТ с применением деформирующего ролика диаметром 58 мм: среднее значение остаточного кручения по партиям формировалось: $-0,25 \pm 0,05$ об. Величина стрелы прогиба не превышала 40 мм;

– 2x0,30SHT с применением деформирующего ролика диаметром 44 мм: остаточное кручение металлокорда изменялось в процессе релаксации в течение первых суток, при этом изменение остаточного кручения составило 1,15 об в минусовом направлении. Стрела прогиба металлокорда изменялась после суток релаксации на 9,5 мм, дальнейшее изменение в течение 14 суток проходило менее интенсивно. К тридцати суткам релаксации стрела прогиба металлокорда в среднем составила 62,9 мм, что находилось на уровне серийного металлокорда 50–70 мм;

ВЫВОДЫ

Проведена экспериментальная оценка изменения характеристик металлокорда при изготовлении. Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии деформирующих роликов на прямолинейность металлокорд в процессе релаксации. Расчётные диаметры деформирующего ролика для уменьшения отклонения от прямолинейности металлокорда сложной конструкции, полученные расчётным методом, экспериментально апробированы. Подтверждена наибольшая эффективность ролика расчётного диаметра 38 мм для уменьшения отклонения от прямолинейности металлокорда сложной конструкции 3+8x0,26HT по сравнению с другими диаметрами деформирующего ролика. Аналогично подтверждена эффективность расчётных диаметров деформирующих роликов для металлокордов конструкций : 3+9x0,25HT, 1+5x0,40HT, 2x0,30SHT.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буркин, С. П. Остаточные напряжения в металлопродукции : учебное пособие / С. П. Буркин, Г. В. Шимов, Е. А. Андрюкова. — Екатеринбург :Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 248 с.
2. Киреев, Е. М. Современные методы и пути исследований свойств и направлений повышения качественных показателей канатной и пружинной проволоки / Е. М. Киреев, С. А. Терских, И. И. Крымчанский // Тезисы докладов. — Магнитогорск, 1979. — С. 44–46.
3. Салехова, Г. А. Правка тонкой проволоки растяжением и роликовая правка / Г. А. Салехова // Новости черной металлургии за рубежом. — 2010. — № 4. — С. 64 – 66.
4. Фетисов, В. П. Структурные и технологические аспекты снижения разупрочнения проволоки при свивке высокопрочного металлокорда / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. — 2016. — № 4 (85). — С. 62 – 65.
5. Экехард, А. Правка проволоки / А. Экехард, М. Пех, М. Шиллинг. — Берлин. — 205 с.
6. Бобарикин, Ю. Л. Исследование влияния изгиба металлокорда перед намотом на его прямолинейность после намота / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов, А. В. Веденеев // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : сб. науч. тр. : в 3 кн. / редкол.: А. В. Белый (гл. ред) [и др.]. — Минск : ФТИ НАН Беларуси, 2018. — Кн. 3 — 137 с.
7. Бобарикин, Ю. Л. Оптимизация деформатора для повышения прямолинейности металлокорда / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартыанов // Современные проблемы машиноведения : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 22–23 нояб. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Фил. ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. А. А. Бойко. — Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2018. — 404 с.

REFERENCES

1. Burkin, S. P. Residual stresses in metal products : a textbook / S. P. Burkin, G. V. Shimov, E. A. Andryukova. — Yekaterinburg : Ural Publishing House. University, 2015. — 248 p.
2. Kireev, E. M. Modern methods and ways of researching properties and directions for improving the quality indicators of rope and spring wire / S. A. Kireev, I. I. Terskikh // Crimean EAT. — Abstracts, Magnitogorsk, 1979. — S. 44–46.
3. Straightening of thin wire by stretching and roller straightening / G. A. Salekhova // News of ferrous metallurgy abroad. — 2010. — № 4. — P. 64–66.
4. Fetisov, V. P. Structural and technological aspects of reducing the softening of wire during the twisting of high-strength steel cord / V. P. Fetisov // Casting and metallurgy. — 2016. — № 4 (85). — P. 62–65.

5. Ekehard, A. Wire straightening / A. Ekehard, M. Pech, M. Schilling. – Berlin. – 205 p.
6. Bobarikin, Y. L. Investigation of the influence of bending steel cord before winding on its straightness after winding. Scientific. Works. In 3 books / editorial board: A. V. Bely (Editor-in-Chief) [and others]. – Minsk : Physics Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, 2018. – Kn. 3. – 137 p.
7. Bobarikin, Yu. L. Optimization of the deformer to increase the straightness of the steel cord / Modern problems of mechanical engineering : materials of the XII International. Scientific-Technical Conf. (scientific readings, dedicated to P. O. Sukhoi), Gomel, November 22–23 2018 / M-vo obrazovaniya Rep. Belarus, Gomel. State Techn. P. O. Sukhoi University, Phil. PJSC «Company «Sukhoi» OKB «Sukhoi» ; under the general editorship of A. A. Boyko. – Gomel : GSTU named after P. O. Sukhoi, 2018. – 404 p.

Статья поступила в редакцию 04.05.2023 г.