



Methods of calculation of wire strained and deformed condition while laying are analyzed. Results of calculation of wire deformation in conditions of experimental stand worked out at Belarussian Metallurgical plant are given.

*В. В. ФИЛИППОВ, А. В. ВЕДЕНЕЕВ, РУП "БМЗ",
А. В. СТЕПАНЕНКО, И. И. КРЫМЧАНСКИЙ, ФТИ НАН Беларуси*

ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЕЛИЧИНЫ ОСТАТОЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРОВОЛОК ПОСЛЕ СВИВКИ В МЕТАЛЛОКОРД

УДК 621.778

Вопросами расчета параметров нагружения проволок при изготовлении витых проволочных изделий заниматься начали в первой половине XX в. Решение этой задачи позволяет сократить время на разработку новых технологических процессов, а также проводить работу по выбору схемы деформации проволок, позволяющей перерабатывать проволоку с меньшей обрывностью. Исследования проводили в двух направлениях: создание общей теории напряженно-деформированного состояния проволок при свивке и расчет деформации проволок по заданным параметрам свивки.

Одним из основных является вопрос, какое принимается геометрическое расположение проволок в канатах, так как от правильности оценки кривизны проволоки зависит величина изгибающего напряжения [1]. Используемую сегодня формулу определения радиуса изгиба проволоки предложил П. П. Нестеров [2]. Он рассматривал виток спирали как эллипс, что приводит к искажению результатов расчета вследствие разности кривизны проволоки и эллипса. Многие исследователи пытались оценить величину деформации проволок через определение их напряженного состояния, используя теории упругости [3–5]. Новаторские подходы в теоретических расчетах нашли отражение в работах Г. И. Иозефа, М. Ф. Глушко, В. Н. Боголюбовского, Н. К. Гончаренко, А. П. Ветрова [6–11] и др. В них авторы рассматривают напряженно-деформированное состояние проволочных канатов, используя математические модели на основе векторных уравнений малых деформаций пространственно изогнутых стержней. Сложность выводимых формул не позволяет их применять в производстве, поэтому, как правило, производятся некоторые допущения, что значительно ухудшает точность расчетов.

Не менее важным подходом является определение деформации проволок в процессе свивки по параметрам настройки оборудования. В связи с тем

что свивка представляет собой сложный технологический процесс, исследователи определяют деформации проволок с полнофакторным анализом или рассматривают влияние отдельных видов деформации. Попытка определить деформации проволок при свивке через заданные тензоры деформации также приводит к расхождению результатов расчетов и практических данных. Во-первых, до настоящего времени отсутствует возможность замера усилий, возникающих в проволоках в процессе свивки. Это затрудняет расчет суммарной деформации через диаграммы нагружения. Во-вторых, существует сложность определения отношения упругой и пластической величины деформации проволок.

Второй подход, связанный с нахождением суммарной деформации через однофакторные зависимости, не учитывает сложного взаимодействия напряжений при свивке. В работе [12] проводится анализ проблемных вопросов в области теории проектирования процессов свивки стальных канатов и металлокорда. В. Г. Хромовым показана несовместимость использования моделей с поэтапной деформацией проволок — одним из возможных видов нагружения — с практическими результатами.

Кроме оценки величины деформации проволок при свивке, в настоящее время нет единой теории по определению остаточной деформации после сложнагруженного состояния. Т. А. Конвем [13] анализируется проблема задания проволокам необходимого уровня напряженно-деформированного состояния с учетом процессов релаксации под действием упругих напряжений в проволоках. При этом проволока каната рассматривается как упругий стержень, а модуль упругости изменяется со временем. Показано, что после свивки металлокорда изменяются радиус свивки и шаг укладки проволок, которые могут характеризовать изменение их кривизны и кручения. К сожалению, автор

рассматривает модели только в упругой области, что вносит рассогласование между результатом расчета и практическими данными.

Практическое определение остаточной деформации проволок, а также зависимости остаточной кривизны и кручения от заданных величин для проволоки диаметром 0,30 НТ при изготовлении металлокорда 2×0,30 НТ приведены в работах Б. А. Бирюкова [14, 15]. Причем рассмотрены простые зависимости при чистом изгибе или кручении проволоки, которые упрощают методики замеров, но не отражают реального остаточного изменения кривизны и кручения проволок.

Методику определения полной остаточной деформации проволок после свивки разработала фирма "Beкаегт". Разработчики при изготовлении металлокорда открытых конструкций [16] использовали методику практического определения кривизны проволок после свивки в металлокорд при помощи передвижения лазера вдоль образца с определением изменения координаты фиксированной точки на поверхности проволоки в двух плоскостях. После прохождения лазера вдоль проволоки расстояния, равного шагу спирали, координата точки на проволоке совмещается с точкой отсчета. Данная методика позволяет довольно точно найти остаточную кривизну проволоки, численные параметры которой в дальнейшем можно использовать для теоретической модели в области создания и управления технологического процесса. Но при этом проволока извлекается из корда, полученного на свивочных машинах. Это удорожает процесс исследования и делает их продолжительными во времени. Кроме того, имеется ограничение по установочным параметрам, зависящим от возможностей оборудования.

Особый интерес представляет методика практической оценки остаточной деформации проволок после моделирования процесса свивки, максимально приближенного к реальным условиям. Данный способ является разработкой специалистов РУП "БМЗ".

При изготовлении стенда для моделирования исходили из создания условий различного сочетания деформаций, которые может испытывать проволока в процессе свивки: растяжение, изгиб и кручение.

Торсиометры, используемые для проведения испытаний проволок на скручивание, неспособны создавать полнофакторные условия свивочного процесса. Кроме того, при скручивании двух параллельных проволок сложно получить необходимый радиус изгиба исследуемой проволоки и равномерный шаг свивки по длине образца.

В Исследовательском центре металлургии РУП "БМЗ" создан опытный стенд, в котором полностью исключены недостатки торсиометра (см. рисунок).

Для получения равномерного шага повива наружной проволоки на центральную используется укладчик типа UHING. Он позволяет навивать проволоку с разным шагом при помощи переключателя.

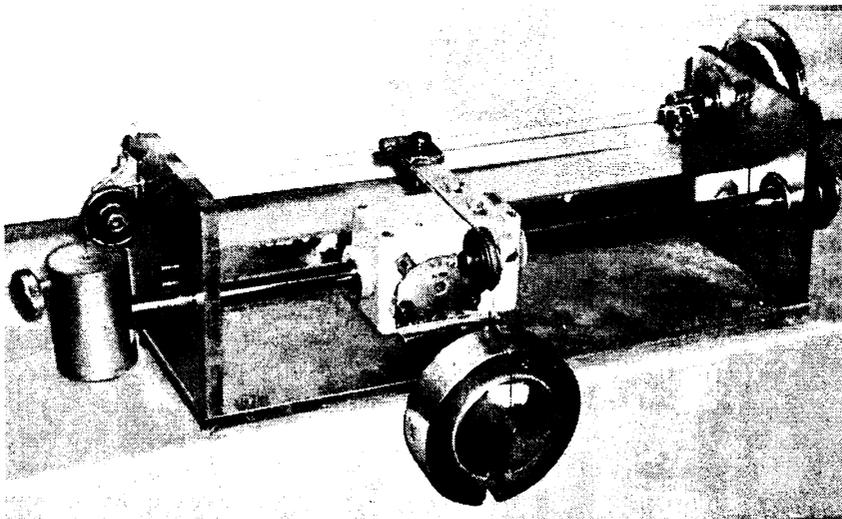
Согласно выражениям, приведенным в работе [17], для определения суммарной остаточной кривизны и кручения проволок необходимы параметры шага и радиуса свивки. Поэтому для их расчета с полученного образца делается фотография с плоским изображением спиральной проволоки и определяется форма полученной косинусоиды [18]:

$$y=A \cos wx,$$

где A — амплитуда изменения косинусоиды, мм; w — круговая частота изменения косинусоиды, рад/мм.

При наложении на изображение координатной сетки находим координаты точек линии y и x , а также период изменения косинусоиды (T), который является шагом свивки (t) образца проволоки (с учетом масштаба изображения M). Тогда частоту w можно рассчитать по формуле:

$$w=2\pi/T=2\pi/t.$$



Общий вид опытного стенда для имитации условий свивки

При известных координатах y и x , а также w можно вычислить амплитуду A , мм:

$$A = y / \cos(2\pi x / t) M.$$

Диаметр спирали исследуемой проволоки находим из выражения:

$$D = 2A + \delta,$$

где δ — диаметр исследуемой проволоки, мм.

Радиус свивки будет равен: $R = D - \delta = 2A$, мм.

Согласно [17], значения кривизны K и кручения $T_{\text{дв}}$ спирали определяем по формулам:

$$K = \frac{R}{R^2 + t^2 / 4\pi^2},$$

$$T_{\text{дв}} = \frac{t}{2\pi R^2 + t^2 / 2\pi}.$$

Сравнивая кривизну исследуемой проволоки в свободном состоянии и зафиксированном положении вокруг центральной проволоки, строятся их зависимости при сложных видах нагружения. При определенной точности нахождения кривизны спирали в момент деформации и после снятия нагрузок можно легко оценить зависимости полной остаточной деформации от сочетания различных видов прикладываемых нагрузок.

Выводы

1. Для определения величины остаточной деформации проволок после свивки наиболее точным методом является расчет остаточной кривизны проволок посредством замера остаточного диаметра и шага полученной спирали.

2. Впервые на РУП "БМЗ" разработан стенд для проведения имитации различных условий свивки, не имеющих аналогов в мире, при помощи которого возможна оценка остаточной деформации проволок с разными сочетаниями и значениями прикладываемых усилий.

3. С помощью проводимого моделирования процессов свивки возможно развитие достаточно точных и простых расчетов для производства.

Литература

1. Leider M. G. Krümmung und Biegespannungen von Drahten in gebogenen Drahtseilen // Draht. 1977. №1.
2. Нестеров П. П. Основы конструирования шахтных подъемных канатов. М.: Углетехиздат, 1949.
3. Житков Д. Г., Поспехов И. Т. Стальные канаты для подъемно-транспортных машин. М.: Metallurgizdat. 1953.
4. Hruska F. H. Calculation of stresses in wire ropes // Wire and Wire Products. 1951. Vol. 26(9). P. 766—767; 799—801.
5. Hruska F. H. Radial forces in wire ropes // Wire and Wire Products. 1952. Vol. 25(5). P. 459—463.
6. Hruska F. H. Tangential forces in wire ropes // Wire and Wire Products. 1953. Vol. 28(5). P. 455—460.
7. Иозеф Г. И. Геометрическое построение канатов плотной свивки с линейным касанием проволок в прядях // Информ. ЦНИИЧМ. 1962. Сер. 6. №8. С. 10.
8. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты. Киев: Техника, 1966.
9. Боголюбский В. Н. Производство канатов. М.: Металлургия, 1954.
10. Гончаренко Н. К. Регулирование остаточного технологического момента в канатах предварительным кручением // Изв. вузов. Машиностроение. 1972. №11.
11. Ветров А. П., Кононенко Л. Ф. Определение причин появления дефектов в закрытых канатах // Стальные канаты. Киев: Техника, 1971. №8.
12. Хромов В. Г. Проблемные вопросы теории в области проектирования процессов изготовления многопроволочных изделий. Севастополь, 1988.
13. Conway T. A., Costello G. A. Three-filament cord / Journal of Engineering Mechanics. 1993. Vol. 119, N 4, april.
14. Бирюков Б. А., Павлюченко А. П., Озерова Л. Ф. Способ производства витых проволочных изделий. Пат. 000130 В1, 30.06.98.
15. Бирюков Б. А. Условия предварительной деформации элементов металлокорда открытой конструкции // Литье и металлургия. 1999. №3. С. 35—38.
16. De Vos Xavier, Van Giel Frans. Open steel cord structure / Pat. US 5687557 (Bekaert SA NV), 1997.
17. 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.
18. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1981.