

рого определяются по формулам (2), (3) и (20). Соблюдение полученного условия достигается варьированием технологических режимов плакирования: интенсивностью деформации, скоростью деформации, геометрией очага деформации и начальной температурой соединяемых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каракозов Э. С., Орлова Л. М., Пешиков В. В. Диффузионная сварка титана. – М.: Металлургия, 1977. – 272 с.
2. Громов А. В. Теория обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1978. – 360 с.
3. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
4. Бобарикин Ю. Л., Стрикель Н. И., Урбанович А. М. Основные закономерности плакирования стали прокаткой металлическими порошками // *Материалы, технологии, инструменты.* – Т. 5 (2000). – № 1. – С. 62 – 65.
5. Изотермическое деформирование металлов / С. З. Фиглин, В. В. Бойцов, Ю. Г. Калпин и др. – М.: Машиностроение, 1978. – 239 с.
6. Гарафало Ф. Законы ползучести и длительной прочности металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 1968. – 304 с.

УДК 621.778

В. В. ФИЛИПОВ, канд. техн. наук (РУП БМЗ),
А. В. СТЕПАНЕНКО, академик (ФТИ НАНБ),
А. В. ВЕДЕНЕЕВ, и **И. И. КРЫМЧАНСКИЙ** (РУП БМЗ),

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВИЗНЫ И КРУЧЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ПОСЛЕ СВИВКИ В МЕТАЛЛОКОРД

Свитые в канат (металлокорд) проволоки испытывают внешнее воздействие со стороны соседних проволок в слое и соседних слоев. Уровень упругих напряжений, обусловленных этими внешними воздействиями, существенно влияет на эксплуатационные характеристики витых изделий. Для правильного подбора параметров свивки (величина натяжения проволок при размотке, деформации в торсионном устройстве и преформаторе и т. д.) важно знать соотношение остаточной упругопластической деформации проволок и деформации, вызванной отмеченными воздействиями.

Авторами работы [1] предложена методика аналитического определения деформаций проволок после свивки с использованием аппарата тензорного исчисления. Но для такого расчета необходимо определить действующие при свивке натяжения, а также соотношение полной и остаточной деформаций при совместном действии растяжения, изгиба и кручения. Решение этих задач само по себе проблематично.

При сегодняшнем уровне развития теории вряд ли возможно выполнение достаточно точных расчетов без привлечения эмпирических данных.

Так, Б. А. Бирюков [2, 3] предложил для определения остаточных деформаций проволок при сложном нагружении использовать результаты опытов, выполненных при различных видах простого нагружения (чистый изгиб, кручение и т. д.). Такой подход основан на предположении об отсутствии взаимозависимости составляющих. На самом же деле имеет место сложное взаимодействие напряжений и деформаций растяжения, изгиба и кручения. Как показал В. Г. Хромов [4], замена сложного нагружения при свивке последовательным суммированием составляющих дает погрешность расчетов 200 – 500%.

Более корректно, на наш взгляд, определять упругую деформацию проволоки под действием внешних сил по изменению ее кривизны и кручения после выплетения из изделия. Один из способов определения остаточной кривизны проволоки, выплетенной из металлокорда, предложен авторами работы [5]. Он основан на передвижении лазера вдоль образца с определением изменения координаты фиксированной точки на поверхности проволоки в двух плоскостях. После прохождения лучом лазера вдоль проволоки расстояния, равного шагу спирали, координата точки на проволоке совмещается с точкой отсчета. Такая методика дает возможность довольно точно определить остаточную кривизну проволоки. Однако свивочная машина не позволяет определить полную деформацию отдельно взятой проволоки, что затрудняет использование полученных данных в последующих расчетах.

Для точного определения параметров остаточной деформации проволоки на Белорусском металлургическом заводе разработан испытательный стенд, общий вид которого приведен на рис. 1.

Принцип работы стенда заключается в навивке исследуемой проволоки на цилиндрический сердечник (центральную проволоку) при одновременном воздействии натяжения, величина которого задается подвешенным

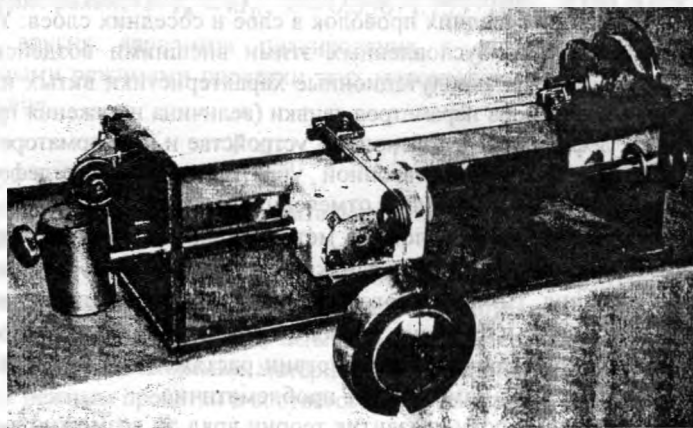


Рис. 1. Общий вид опытного стенда для имитации условий свивки

грузом. Подбор величины груза, диаметра сердечника и шага укладки позволяет реализовать любое заданное сочетание деформации растяжения, изгиба и кручения. Замер параметров спирали проволоки, навитой на сердечник, дает возможность определить ее полную деформацию, а параметров спирали после разгрузки – остаточную деформацию.

Замер параметров навитой на сердечник проволоки не вызывает каких-либо затруднений. Диаметр и шаг спирали после разгрузки достаточно точно можно найти по изображению ее продольной проекции на плоскости. На оптическом проекторе изображение получается нечетким из-за дифракции. Поэтому лучше использовать фотографии, сделанные на сканирующем электронном микроскопе.

Фронтальная проекция винтовой линии представляет собой косинусоиду

$$y = R \cos \omega x, \quad (1)$$

где R – радиус спирали (амплитудное значение x); ω – круговая частота.

Для получения коэффициентов уравнения (1) на изображение фронтальной проекции накладывают координатную сетку, определяют координаты $(x_i; y_i)$ ряда точек линии и рассчитывают уравнение регрессии.

Кривизна K и кручение T спирали связаны с R и ω соотношениями [6]:

$$K = \frac{R}{R^2 + t^2 / (4\pi^2)}; \quad (2)$$

$$T = \frac{t}{2\pi R^2 + t^2 / (2\pi)}, \quad (3)$$

где t – шаг спирали ($t = 2\pi / \omega$).

В качестве примера на рис. 2 и 3 приведены результаты, полученные при исследовании проволоки диаметром 0,175 мм с временным сопротивлением разрыву 3750 Н/мм².

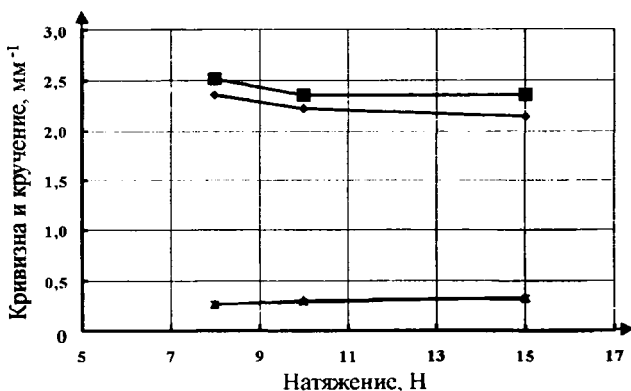


Рис. 2. Зависимость кривизны и кручения проволоки от натяжения (диаметр сердечника 0,5 мм)

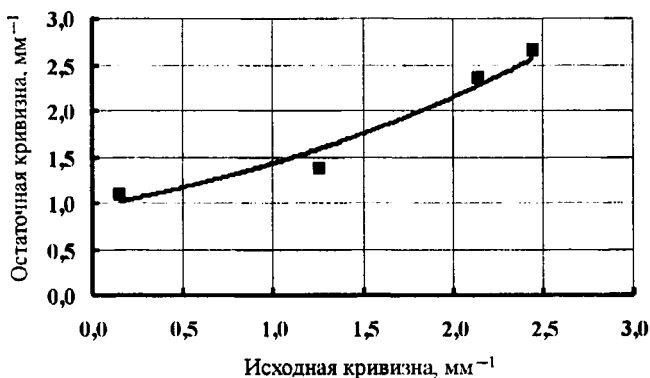


Рис. 3. Зависимость остаточной кривизны от исходной (натяжение при навивке 15 Н)

Построив серию кривых аналогично рис. 2 и 3, можно затем расчетным путем определить упругие деформации и напряжения проволоки в канате под действием внешних сил при тех или иных параметрах свивки.

Разработаны испытательный стенд и методика измерения для определения остаточной деформации проволоки после свивки в зависимости от параметров свивки. Экспериментальные данные могут быть использованы при инженерных расчетах параметров свивки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nawrocki A., Labrosse M., Conway T. A new specific finite element model for cables-Pat I: Theory // Wire J. Inter. – 2000. – October. – P. 120–128.
2. Бирюков Б. А., Павлюченко А. П., Озерова Л. Ф. Способ производства витых проволочных изделий. Пат. 000130 В1, 30.06.98.
3. Бирюков Б. А. Условия предварительной деформации элементов металлокорда открытой конструкции // Литье и металлургия. – № 3. – 1999. – С. 35–38.
4. Хромов В. Г. Проблемные вопросы теории в области проектирования процессов изготовления многопроволочных изделий // Рубрика СПИ. – Севастополь, 1988. – 12 с.
5. De Vos Xavier, Van Giel Frans. Open steel cord structure // Pat. № US 5687557 (Bekaert SA NV). – 1997.
6. Веденев А. В., Желтков А. С., Филиппов В. В. Анализ деформаций элементов витых структур и их влияние на потери прочности при производстве металлокорда // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2000. – № 3. – С. 23–27.