

## ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СВИВКИ МЕТАЛЛОКОРДА

С. В. Авсейков, М. Н. Верещагин, Ю. Л. Бобарикин

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

Аналитическое и экспериментальное определение параметров напряженно-деформированного состояния проволоки при свивке в металлокорд чрезвычайно затруднено в связи с высокой степенью сложности схемы пространственной деформации проволок при свивке.

Использование метода конечных элементов для численного моделирования позволяет описывать процесс свивки металлокорда с учетом деформационной и геометрической нелинейности, скорости деформации и контактного трения между проволоками корда. Напряженно-деформированное состояние объема проволоки  $V$  рассматривается в трехмерной постановке в декартовой системе координат (рис. 1).

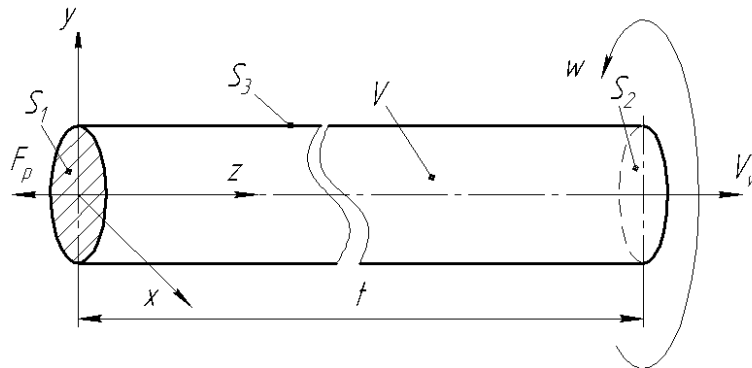


Рис. 1. Геометрическая модель и граничные условия

На рис. 1 изображены область проволоки, равная шагу свивки ( $t$ ), и граничные условия. В направлении оси  $Z$  проволока имеет длину, во много преувеличивающую очаг деформации, поэтому за очаг деформации (основной участок концентрации НДС) принимаем фрагмент проволоки, равный шагу ( $t$ ) металлокорда. Пространственная постановка задачи допускает скольжение свиваемых проволок в процессе свивки относительно друг друга вдоль оси металлокорда, что соответствует реальным условиям свивки.

Конечно-элементная модель проволоки  $V$  своей правой частью ограничена и прикреплена к поверхности  $S_2$  с заданными на ней перемещениями  $U(w, V_w)$ , которые передаются от узлов канатной машины в процессе свивки проволоке. К противоположной стороне модели на поверхности  $S_1$  приложена сила, равная усилию торможения на питающих катушках  $F_p$ .

Таким образом, задача сводится к определению напряженно-деформированного состояния объема проволоки при кручении с изгибом в пространственной постановке с учетом контактного взаимодействия с другими проволоками. Решение задачи представляется возможным при следующих основных упрощениях:

1. Материал проволоки принят сплошным, несжимаемым, изотропным и упруго-пластичным.

2. Принимаем, что пластическая деформация металла проволоки приводит к увеличению предела упругости при повторной деформации того же знака и уменьшению его при повторной деформации противоположного знака (эффект Боушингера) [2].

3. Предполагается, что площадь контакта между телами в поперечном сечении мала по сравнению с их размерами и не изменяется при деформации. А при распространении зоны контакта по длине проволоки ее вид представляет собой объемную спираль. Тогда в рамках конечно-элементного представления контакт между телами рассматривается как узел, принадлежащий двум проволокам одновременно [3]. Принята модель трения Кулона с коэффициентом контактного трения  $f = 0,115$  [4].

Для описания соотношения деформаций и напряжений в проволоке выбрана упругопластическая модель Мизеса – модель пластичности с пределом текучести в виде мультипликативной зависимости, учитывающая деформационное пластическое упрочнение и эффект Боушингера [5].

### Выводы

Численный анализ напряженно-деформированного состояния проволок металлокорда в процессе свивки с использованием метода конечных элементов позволяет описывать изменение напряженно-деформированного состояния в процессе свивки металлокорда. Численное описание процесса свивки металлокорда позволит прогнозировать изменение технологических параметров производства металлокорда при изменении механических характеристик стальной латунированной тонкой проволоки перед свивкой и при изменении условий свивки.

### Литература

1. Erdem Imrak, C. On the problem of wire rope model generation with axial loading / C. Erdem Imrak, Cengiz Erdonmez // Mathematical and Computational Applications. – 2010. – Vol. 15. – P. 259–268.
2. Аркулис, Г. Э. Теория пластичности : учеб. пособие для вузов / Г. Э. Аркулис, В. Г. Дорогобид. – М. : Металлургия, 1987. – 352 с.
3. Емельянов, И. Г. Модель напряженного состояния стального каната / И. Г. Емельянов // Сталь. – 2001. – № 10. – С. 50–52.
4. Jiang, W. G. The analysis of termination effects in wire strand using finite element method / W. G. Jiang, J. L. Henshall // Journal of Strain Analysis. – 1999. – P. 31–38.

5. Кукуджанов, В. Н. Компьютерное моделирование деформирования, повреждаемости и разрушения неупругих материалов и конструкций : учеб. пособие / В. Н. Кукуджанов. – М. : МФТИ, 2008. – 215 с.