

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МЕТАЛЛОКОРДА КАК ЗАЛОГ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Ю. В. Мартьянов, Ю. Л. Бобарикин

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

Показаны пути повышения качества металлокорда. Обозначена важность повышения качества продукции для обеспечения технологического суверенитета. Выполнено моделирование свивки металлокорда, выполнена имитация разрыва металлокорда для определения агрегатной прочности. Даны результирующие выводы о возможностях повышения качества металлокорда в направлении повышения прямолинейности и увеличения агрегатной прочности.

Ключевые слова: металлокорд, моделирование, напряжения, прочность, прямолинейность.

Металлокорд представляет собой витое изделие из стальной проволоки диаметром в диапазоне от 0,1 до 1 мм, используемое в качестве армирующего элемента при изготовлении автомобильных шин и резиновых полотен. Наиболее распространенный класс прочности НТ производится из стали 80.

Высокое качество национального продукта обеспечивает технологический суверенитет в метизной отрасли производства. Это означает, что технологии находятся на высоком уровне и позволяют использовать собственные разработки и компетенции для достижения требуемых параметров металлокорда. К качественным характеристикам металлокорда можно отнести механические и технологические свойства, в частности: отклонение от прямолинейности, агрегатную прочность, относительную обрывность.

Существующие технологические методы получения высокопрочного металлокорда, включающие волочение проволоки на волочильных станах и свивку металлокорда из проволоки на канатных машинах, не обеспечивают достижения требуемого показателя отклонения от прямолинейности металлокорда, который должен составлять менее 80 мм на длине 600 мм. Данное ограничение оказывает негативное влияние на процессы автоматизации производства автомобильных шин: из-за несоответствия прямолинейности металлокорда установленным требованиям автоматические линии вынуждены переводиться в ручной режим работы, что приводит к существенному снижению производительности.

Основной причиной отклонения от прямолинейности металлокорда выступают остаточные напряжения, формирующиеся в металлической структуре на этапах волочения проволоки и свивки металлокорда из отдельных проволок. Для снижения показателя отклонения от прямолинейности в современной практике применяются технические и технологические решения, основанные на регулировании изгиба и натяжения при волочении проволоки, а также на контроле изгиба металлокорда в процессе свивки. Тем не менее эффективность данных методов ограничена ввиду отсутствия учета неравномерности распределения остаточных напряжений по сечению как отдельной проволоки, так и всего металлокорда в целом, игнорирования влияния

суммарных напряжений, возникающих в конструкции металлокорда, и отсутствия учета макроперемещений отдельных проволок внутри конструкции металлокорда при его свивке.

Обеспечение низкого показателя отклонения от прямолинейности металлокорда представляет собой актуальную научно-техническую задачу, обусловленную жесткими требованиями современных компаний-потребителей. Несоответствие металлокорда заданным параметрам влечет за собой предъявление рекламаций со стороны заказчиков. Перечисленные последствия создают дополнительную нагрузку на предприятие-производитель, снижая экономическую эффективность производства и ухудшая его репутацию на международном рынке.

Актуальной является проблема повышения агрегатной прочности металлокорда. Агрегатная прочность металлокорда означает его сопротивление разрушению при осевом растяжении как единой витой конструкции. Низкая агрегатная прочность означает необходимость увеличивать полезное сечение металлокорда за счет увеличения количества проволок или их диаметра. Это означает более высокую материалоемкость и, как следствие, более высокую массу конечного изделия.

Производство высокопрочного металлокорда относится к метизному производству (четвертый металлургический передел). Основной заготовкой для метизного производства является катанка диаметром от 4 до 10 мм. Для производства высокопрочного металлокорда катанка подвергается очистке, промывке, нанесению под-смазочного слоя, грубому волочению (в современном производстве чаще прибегают к грубо-среднему волочению) до диаметра 1–1,5 мм, конвективному патентированию–латунированию (термообработка [1, с. 5] и нанесению латунного слоя химикотермическим способом), тонкому (мокрому) волочению [2] на волочильных станах со скольжением до предельного диаметра 0,1 мм, свивке на канатных машинах двойного кручения.

Окончательный комплекс механических свойств формируется на этапе тонкого волочения. На этапе тонкого волочения производится тонкая проволока. К тонкой проволоке относится проволока диаметром от 0,1 до 1 мм. Наиболее распространенным диаметром является 0,3 мм. Удельная доля производства такой проволоки в Республике Беларусь составляет около 80 %. Высокопрочная проволока класса прочности НТ (High Tensile) имеет предел прочности около 3000 МПа. такой уровень прочности достигается за счет большой вытяжки на волочильном стане со скольжением и упрочнении проволоки за счет деформации [3].

Особенно важно отметить, что от свойств тонкой проволоки зависит качество металлокорда, свитого из этой проволоки.

Из высокопрочной тонкой проволоки производится высокопрочный металлокорд. Высокопрочный металлокорд широко используется в шинной промышленности в качестве армирующего элемента для резиновых полотен и резиновых покрышек. Высокопрочный металлокорд в современном метизном производстве чаще всего получают на канатных машинах двойного кручения.

Вследствие пластической деформации проволоки в процессе волочения возрастает предел прочности, уменьшается относительное удлинение, снижается ударная вязкость. Как следствие, снижается пластичность металла проволоки [4–6, с. 93–95; 7, с. 99–103].

Для исследований причин несоответствия качественных характеристик металлокорда целесообразно применять численные теоретические методы моделирования с использованием компьютерных систем.

В рамках исследования отклонения от прямолинейности металлокорда и агрегатной прочности металлокорда построены численные модели свивки однослойных конструкций металлокорда на базе трех проволок: $3 \times 0,25$ НТ; $3 \times 0,30$ НТ; $3 \times 0,35$ НТ. Численные модели учитывают контактное взаимодействие проволок в конструкции. Модель материала проволок учитывает особенности пластической деформации при свивке, а также содержит модель повреждений Джонсона–Кука.

Моделирование произведено со следующими параметрами:

- Количество элементов сетки обще – 174 тыс.
- Натяжение проволок при свивке – 40 Н.
- Частота вращения ротора – 3000 об/мин.
- Шаг свивки – 15 мм.
- Материал – Сталь 80.

Параметры свивки приближены к действующим параметрам свивки на реальном производстве металлокорда. Свивка проволок выполнена на двух шагах металлокорда. Результаты свивки представлены на рис. 1.

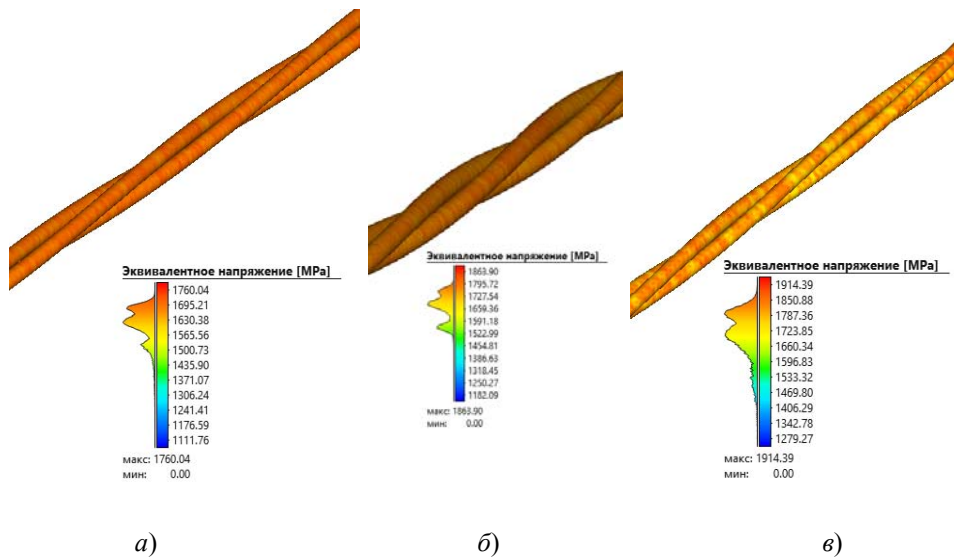


Рис. 1. Результаты свивки металлокордов:
а – $3 \times 0,25$ НТ; б – $3 \times 0,30$ НТ; в – $3 \times 0,35$ НТ

Построена модель имитации растяжения металлокорда до полного разрыва всей конструкции металлокорда. Разрушение материала подчиняется классическим законам пластического течения материала.

Диаграмма растяжения металлокорда приведена на рис. 2.

Диаграмма растяжения демонстрирует, что разрыв проволок происходит неравномерно, неодинаково. Проволоки разрушаются по очереди. При разрушении одной проволоки в конструкции остальные проволоки несколько смещаются, выпрямляются, что увеличивает общий показатель относительного удлинения металлокорда.

Учитывая, что диаграмма растяжения похожа на классическую диаграмму растяжения металла, а характер разрушений полностью соответствует классическим положениям, можно утверждать, что построенная модель растяжения однослойного металлокорда адекватна.

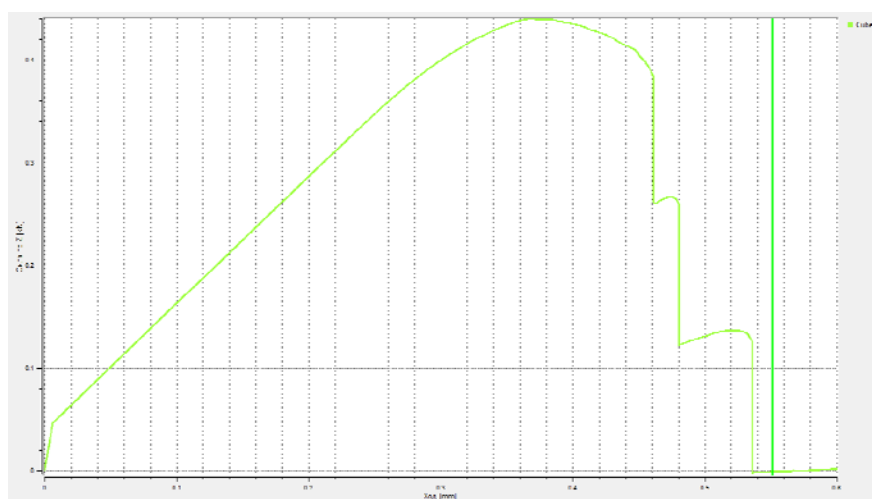


Рис. 2. Диаграмма растяжения металлокорда

При скручивании проволок происходит изгиб и кручение. Деформация распределена неравномерно, пики деформации расположены в местах, где проволоки контактируют друг с другом. Максимальные эффективные напряжения при свивке проволоки в металлокорд составляют 685 МПа.

На второй стадии, когда конструкция металлокорда с избыточной деформацией возвращается обратным кручением к требуемому состоянию скручивания и шага спиральной линии проволоки, видно, что напряжения в проволоках изменяются по модулю и расположению, а деформация снижается. Это частично обусловлено контактным взаимодействием проволок в конструкции металлокорда [8].

Остаточные напряжения в проволоках после свивки распределены достаточно равномерно по поверхности. При этом максимальные остаточные напряжения проявляются на поверхности проволоки, максимально удаленной от оси свивки. Максимальные остаточные напряжения составляют 1850 МПа (69 % – от эффективных напряжений), минимальные остаточные напряжения составляют 1180 МПа (7,5 % – от эффективных напряжений).

Исследования показали, что после волочения максимальные остаточные напряжения находятся в зоне $0,69R$. После свивки (I стадия) максимальные эквивалентные напряжения расположены равномерно по всей длине шага свивки металлокорда. После свивки и имитации торсионного устройства (II стадия) максимальные остаточные напряжения расположены в зоне поверхности проволоки, наиболее удаленной от оси свивки.

Неравномерное распределение остаточных напряжений в проволоке после волочения, а также высокое значение остаточных напряжений после свивки металлокорда может увеличить отклонение от прямолинейности металлокорда.

Для повышения прямолинейности металлокорда необходимо использовать дополнительные роликовые устройства, расположенные в узле намотки канатной машины и обеспечивающие обратный контролируемый изгиб конструкции металлокорда перед намоткой на катушку. Это позволяет уменьшить градиент остаточных напряжений и изменить картину контактных взаимодействий между проволоками в конструкции металлокорда. Проволоки блокируют смещения, таким образом, вся конструкция металлокорда находится в некотором защемлении, что обеспечивает прямолинейность металлокорда на макроуровне.

По результатам исследований определено, что в однослойных конструкциях металлокорда диаметр проволок влияет на агрегатную прочность в незначительной степени в конструкции из трех проволок. Это связано с тем, что конструкция из трех проволок симметрична относительно геометрического центра и центра массы металлокорда. Ожидается, что в многослойных конструкциях диаметр будет влиять на агрегатную прочность в большей степени по причине смещения центров массы и оси симметрии конструкции.

Литература

1. Тепловые процессы при обработке металлов и сплавов давлением / Н. И. Яловой, М. А. Тылкин, П. И. Полухин, Д. И. Васильев. – М. : Высш. шк., 1973. – 631 с.
2. Харитонов, В. А. Состояние и направления развития волочения проволоки в монолитных волокнах / В. А. Харитонов, М. Ю. Усанов, Н. Ю. Сметнева // Заготовительные производства в машиностроении (кузнечно-прессовое, литейное и другие производства). – 2019. – Т. 17, № 9. – С. 411–417.
3. Бреславцева, И. В. Напряженно-деформированное состояние проволок каната при свивке и метод расчета параметров преформаторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05 / Бреславцева Ирина Валентиновна ; Южно-Рос. гос. техн. ун-т / Новочерк. политехн. ин-т. – М., 2007. – 19 с.
4. Харитонов, В. А. Повышение комплекса механических свойств стальной проволоки на основе разработки совмещенно-комбинированного способа волочения / В. А. Харитонов, Д. Э. Галлямов // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2016. – № 1 (44). – С. 43–48.
5. Харитонов, В. А. Управление напряженно-деформированным состоянием в стальных канатах / В. А. Харитонов, А. И. Зайнуллин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2023. – Т. 14, № 1. – С. 22–25.
6. Малинин, Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести : учеб. для студентов вузов / Н. Н. Малинин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1975. – 400 с.
7. Касаткин, Б. С. Экспериментальные методы исследования деформаций и напряжений : справ. пособие / Б. С. Касаткин, А. Б. Кудрин, Л. М. Лобанов. – Киев : Наукова Думка, 1981. – 581 с.
8. Бобарикин, Ю. Л. Влияние параметров деформации металлокорда перед намоткой на его прямолинейность после намотки / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартынов // Вестник Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого. – 2019. – № 1 (76). – С. 50–55.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДНОГО И ИСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В ТУРИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

И. В. Ермонина

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

Развитию туризма в стране придается большое значение. Рассмотрены находящиеся в лесном фонде объекты природного и историко-культурного наследия, их комплексная оценка по предложенным показателям. Особое внимание уделено необходимости применения этой оценки для расчета коэффициента экскурсионной ценности объектов, которые включены в экологический маршрут. Это позволяет дифференцированно подходить к определению стоимости экскурсии по маршруту в зависимости от выбранных объектов туристского показа.

Ключевые слова: лесной фонд, объекты, природное наследие, историко-культурное наследие, комплексная оценка, туристическая деятельность.

В настоящее время развитие туризма в Республике Беларусь осуществляется динамично: растут объемы оказания туристических услуг, появляются новые средства размещения туристов, открываются новые туристические маршруты. В стране