

17. Фетисов, В. П. Структурные аспекты снижения пластичности высокопрочной проволоки при больших суммарных обжатиях / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. – 2012. – № 4 (68). – С. 107–109.
18. Фетисов, В. П. Влияние технологии свивки методом двойного кручения на формирование остаточных кручений и прямолинейности металлокорда / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. – 2012. – № 4 (68). – С. 45–47.
19. Евдонич, В. А. Исследование влияния применения сдвоенной чистовой волоки на пластические свойства стальной высокоуглеродистой проволоки / В. А. Евдонич, Ю. Л. Бобарикин, Т. А. Ахметов // Литье и металлургия. – 2019. – № 3. – С. 113–117.
20. Ковалева, И. А. Особенности формирования закалочных структур в высокоуглеродистой катанке диаметром 5,5 мм / И. А. Ковалева, Н. А. Ходосовская, А. А. Кучкоч // Литейное производство и металлургия 2019, Беларусь : материалы Междунар. науч.-техн. конф, 2019. С. 151–153.
21. Бирюков, Б. А. Снижение обрывности высокопрочной проволоки при свивке металлокорда на машинах двойного кручения / Б. А. Бирюков, Ю. В. Феоктистов, А. В. Веденеев // Черные металлы. – 2012. – С. 37–43.
22. Демидов, А. В. Опыт модернизации станков мокрого волочения проволоки для металлокорда / А. В. Демидов, И. А. Муравейко // Литье и металлургия. – 2018. – № 4 (93). – С. 97–102.
23. Температурно-деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин, С. В. Авсейков, А. В. Веденеев, И. Н. Радькова // Литье и металлургия. – 2012. – № 3 (67). – С. 205–208.
24. Борисовец, И. В. Дефекты латунного покрытия и их влияние на качество тонкой латунированной проволоки / И. В. Борисовец, В. И. Возная, А. А. Сахарная // Литье и металлургия. – 2013. – № 3 (72). – С. 192–198.
25. Серегина, Е. С. Обрывность проволоки во время волочения по причинам наличия поверхностных дефектов, наследованных с катанки / Е. С. Серегина // Литье и металлургия. – 2017. – № 4 (89). – С. 26–31.
26. Игнатенко, О. И. Эффективность использования сталей, микролегированных хромом, в мезином производстве в условиях РУП «БМЗ» / О. И. Игнатенко, Е. В. Шамановская // Литье и металлургия. – 2008. – № 3 (47). – С. 89–91.
27. Заявка RU 0002695847. Высокопрочная стальная проволока / Mesplont C., Tempelaere G, Van Haver W., De Clercq M. : опубл. 28.02.2019.
28. Патент BY 6035. Способ изготовления высокопрочной стальной проволоки / Желтков А. С., Савенок А. Н., Ежов В. В., Филиппов В. В. : опубл. 30.03.2004.
29. Патент BY 6487. Способ изготовления высокопрочной стальной проволоки с повышенной пластичностью при скручивании / Желтков А. С., Филиппов В. В. : опубл. 30.09.2004.
30. Столяров, А. Ю. Разработка конкурентоспособной технологии производства проволоки высокой прочности для армирования автомобильных шин : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.16.05 / Столяров Алексей Юрьевич ; Магнитогор. гос. техн. ун-т им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2013. – 16 с.

ВЛИЯНИЕ ТИПА И РАЗМЕРА СЕТКИ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ТОЧНОСТЬ РАСЧЕТОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ СВИВКИ МЕТАЛЛОКОРДА

Д. С. Чубарев

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

Научный руководитель Ю. В. Мартянов

Рассмотрены различные виды сеток конечных элементов для численного моделирования. Определены типы сеток, применяемые для моделирования свивки металлокорда. Проведен сравнительный анализ влияния размера сетки на точность расчетов.

Ключевые слова: металлокорд, моделирование, сетка, конечный элемент.

Типы сетки конечных элементов играют важную роль в точности и эффективности моделирования различных процессов, включая свивку металлокорда. В зависимости от сложности модели и необходимости получения высокой точности расчетов используют различные типы сеток конечных элементов. Тетраэдрическая сетка: состоит из тетраэдров и применяется для моделирования сложных геометрических форм. Она хорошо подходит для задач, где требуется высокая гибкость и возможность адаптации к сложной топологии. Гексаэдрическая сетка: состоит из гексаэдров и применяется в тех случаях, когда требуется высокая точность и стабильность расчетов, например, в структурных анализах и моделировании текучих сред. Призматическая сетка: сочетает в себе свойства тетраэдрической и гексаэдрической сеток и используется для моделирования геометрий с вытянутыми формами, таких, как трубы и балки. Комбинированные сетки: объединяют различные типы элементов, что позволяет оптимизировать расчетные ресурсы и повысить точность моделирования в сложных задачах. Комбинированные сетки широко применяются в мультифизических моделях. Для трубных заготовок используют специализированную сетку Tubemesh в полярных и цилиндрических координатах. Дополнительно для двумерных моделей используют квадратную сетку (Quad), треугольную равнобедренную сетку (Tris).

Каждый тип сетки конечных элементов имеет свои преимущества и ограничения, и выбор того или иного типа зависит от конкретной задачи моделирования, требований к точности и доступных вычислительных ресурсов [1].

Для свивки металлокорда наиболее предпочтительно использовать гексагональную или тетраэдрическую сетку в связи с необходимостью перехода из цилиндрической формы в спиральную объемную форму. При этом в некоторых случаях проволока деформируется значительно. Пример численной модели свивки металлокорда представлен на рис. 1.

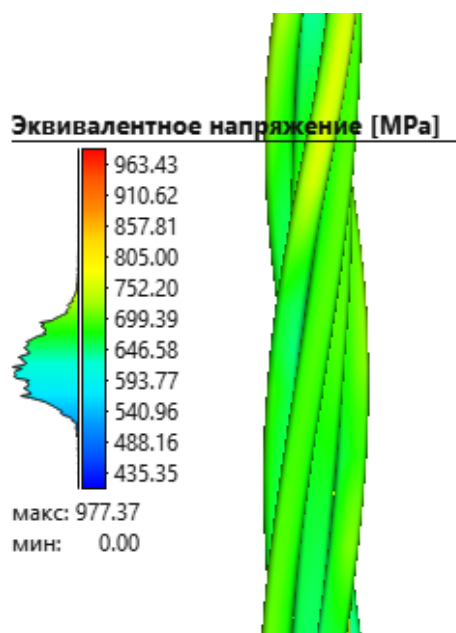


Рис. 1. Пример свивки металлокорда

Для достижения высокой точности расчетов необходимо тщательно подбирать размер конечного элемента. Проведен сравнительный анализ влияния величины сетки конечных элементов на точность получаемых результатов. Для этого построена двумерная модель осадки полосы ограниченной длины (частный случай деформации), которая представлена на рис. 2.

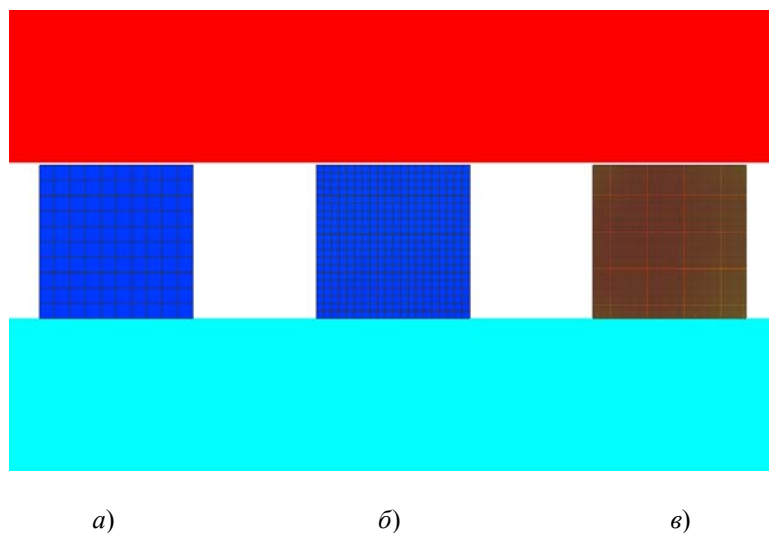


Рис. 2. Двумерная модель осадки полосы ограниченной длины:
а – размер элемента – 1 мм; б – размер элемента – 0,5 мм;
в – размер элемента – 0,1 мм

После деформации были получены результаты, представленные на рис. 3.

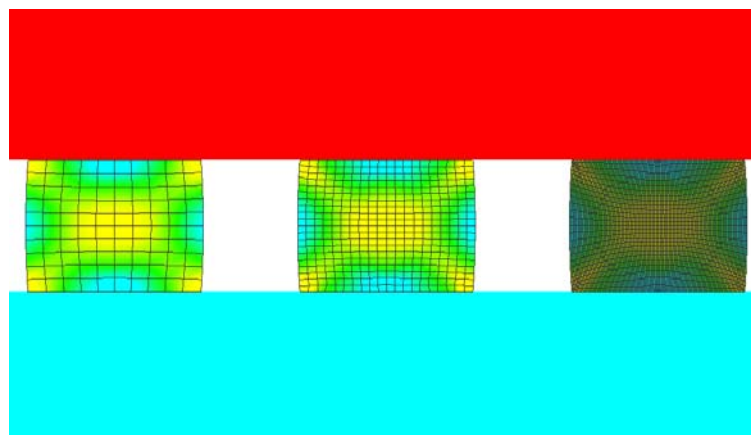


Рис. 3. Результаты численного моделирования

По результатам моделирования видно, что при уменьшении величины сетки конечных элементов наблюдается повышение точности результатов, выражаемое в более четкой картине распределения напряжений при деформации. Так, при величине сетки 1 мм и 0,5 мм не наблюдается локальный минимум напряжений, который расположен в центральной зоне заготовки на границе контакта с инструментом. При более грубой сетке границы зон напряжений размыты и не локализуются.

Таким образом, определено, что при уменьшении величины сетки конечных элементов результаты моделирования напряженного состояния являются более точными, а анализ распределения напряжений – более адекватным. Однако более мелкая сетка приводит к значительному увеличению времени расчетов. Для достижения оптимального режима расчета, когда достоверные результаты могут быть получены с достаточной скоростью, необходимо для каждой модели самостоятельно определять параметры сетки.

Литература

1. Мартянов, Ю. В. Моделирование изгиба металлокорда перед намотом в деформирующих устройствах / Ю. В. Мартянов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики управления : материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 27–28 апр. 2017 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2017. – С. 93–96.

ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОКОРДА

Д. С. Чубарев

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

Научный руководитель Ю. В. Мартянов

Построены численные модели свивки металлокорда $4 + 3 \times 0,35$ NT и его деформации на ролике. Определены величины, экстремумы остаточных напряжений, формирующихся в процесс деформации проволок свивкой и изгибом. Установлено, что для улучшения технологических свойств металлокорда необходимо обеспечивать равномерность формирования остаточных напряжений.

Ключевые слова: металлокорд, напряжения, моделирование, технологические свойства.

Металлокорд представляет собой витое изделие из проволоки диаметром от 0,1 до 1 мм, которое используется в качестве армирующего элемента автомобильных шин и резиновых полотен. Наиболее распространенный класс прочности металлокорда НТ изготавливается из стали 80. Методы получения высокопрочного металлокорда (волочение проволоки на волочильных станах, свивка металлокорда из проволоки на канатных машинах) не всегда обеспечивают низкий показатель отклонения от прямолинейности металлокорда (менее 80 мм на длине 600 мм). Это влияет на процессы автоматизации производства автомобильных шин, так как автоматические линии производства шин переводятся в ручной режим, что снижает производительность. Основной причиной отклонения от прямолинейности металлокорда являются остаточные напряжения, возникающие в металле в процессе волочения проволоки и свивки металлокорда из проволоки [1].

Для достижения низкого показателя отклонения от прямолинейности металлокорда используются технические и технологические способы, основанные на изгибе и натяжении при волочении проволоки и изгибе металлокорда при свивке. Известные способы не позволяют снизить отклонение от прямолинейности металлокорда до низкого показателя в связи с отсутствием учета неравномерности распределения остаточных напряжений по сечению проволоки и металлокорда, отсутствием учета суммарных напряжений и макроперемещений проволок в конструкции металлокорда.