



Леонтьев Вячеслав Владимирович, к.т.н. доцент,
Севастопольский государственный университет, г.Севастополь

Коломийченко Виктория Павловна, старший преподаватель,
Черноморское высшее военно-морское училище
имени П.С. Нахимова г.Севастополь

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ ANSYS

Аннотация. Целью данного исследования заключается в определении оптимальных параметров волочения проволоки на основе полученных результатов моделирования. Описывается процесс моделирования волочения стальной проволоки с использованием программного В результате исследования планируется получить более глубокое понимание процесса соединения проволок и оптимизировать его параметры для достижения наилучшего качества соединения.

Ключевые слова: Моделирование, волочение, стальная проволока, программное обеспечение, радиальные и осевых напряжения, напряженное состояние проволоки.

Численное моделирование волочения стальной проволоки является важным инструментом для определения оптимальных параметров процесса и предсказания поведения материала во время процесса. Моделирование проводится с использованием программы как ANSYS. В процессе моделирования учитываются такие факторы, как геометрия и размеры проволоки, ее свойства, напряжения, скорость деформации и температура. Одним из основных преимуществ численного моделирования является возможность определения оптимальных параметров процесса без необходимости проведения реальных экспериментов.



Приняты следующие основные допущения: задача решается в статической постановке; задача является осесимметричной; между матрицей и проволокой возникает кулоновское трение с коэффициентом 0.005; материал проволоки изотропный, упруго-пластический; модель упрочнения – нелинейная кинематическая; материал матрицы – изотропный, упругий; деформации и напряжения, возникающие за счет нагрева проволоки и матрицы при волочении, не учитываются; противонапряжение проволоки отсутствует.

Схема конструкции показана на рисунке 1. Здесь F – усилие вытяжки.

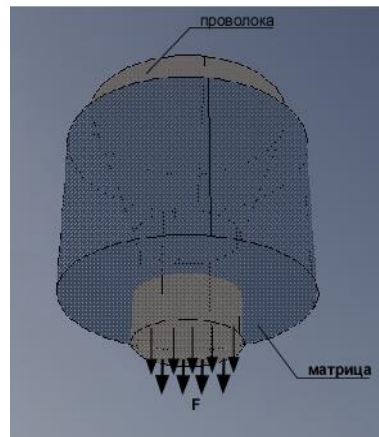


Рисунок 1 – Схема волочения

При моделировании процесса волочения использовалась проволока по ГОСТ 9453-75 форма 8. Проволока выполнена из вольфрамокобальтового сплава ВК-6 с пределом прочности 1500 МПа и модулем продольной упругости 630 ГПа.

При описании свойств канатной проволоки использовалась нелинейная диаграмма деформирования. Согласно [1], при напряжениях, превышающих предел текучести, связь между деформациями и напряжениями описывается следующей зависимостью:

$$\sigma = \sigma_T + \sigma_0(1 - a^{\gamma(\varepsilon - \varepsilon_T)}),$$

где: $\sigma_T = 1009 \text{ МПа}$, $\varepsilon_T = 0.005$, $\sigma_0 = 723 \text{ МПа}$, $a = 0.376$, $\gamma = 213$

Предел текучести составляет 1009 МПа, предел прочности 1732 МПа, модуль продольной упругости 201.8 ГПа. Следует отметить, что, как показал анализ полученных результатов, кинематическая и изотропная модели упрочнения материала проволоки дают численно близкие решения.



При решении задачи использовался треугольный осесимметричный конечный элемент PLANE2 с 6 узловыми точками (три – в вершинах и по одной – в середине каждой из сторон). Число конечных элементов сетки – 6017. Сетка конечных элементов представлена на рисунке 2.

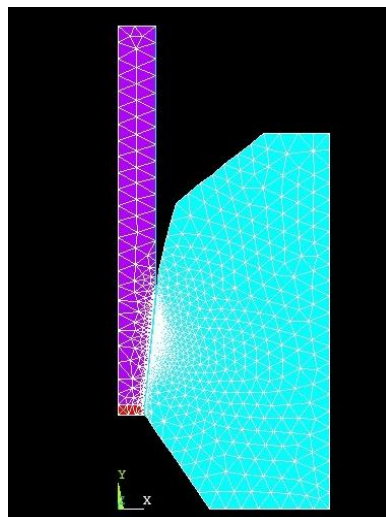


Рисунок 2 – Конечно-элементная сетка

Граничные условия формулировались следующим образом. Радиальные перемещения точек продольной оси проволоки отсутствуют, что естественно для осесимметричной задачи; волока неподвижна.

Для того, чтобы исследовать напряженное состояние проволоки в процессе волочения, необходимо, чтобы вся ее недеформированная цилиндрическая часть прошла через деформирующую и калибрующую зоны. Поэтому, исходя из размеров матрицы (суммарная длина деформирующей и калибрующей зон около 8 мм), вертикальное перемещение нижнего (деформированного) конца проволоки принято равным 15 мм. Такой способ задания граничных условий на вытягиваемом конце проволоки отличается от традиционного, при котором задается усилие вытяжки (рисунок 1). Как показывает анализ, принятый подход позволяет точнее описать напряженно-деформированное состояние проволоки в процессе ее движения внутри матрицы.



При выполнении расчета начальный диаметр d_0 проволоки был принят 2.8 мм, конечный d_1 – 2.0 мм; таким образом, обжатие d_0/d_1 составляет 1.4. Такое обжатие обычно возникает на последнем этапе маршрута волочения. Механические характеристики проволоки в этом случае существенно превышают соответствующие параметры исходной катанки и соответствуют принятым при расчете.

Основные результаты исследования

На рисунке 3 показано распределение радиальных напряжений σ_r для проволоки, прошедшей сквозь волоку, а на рисунке 4 – распределение осевых напряжений σ_y .

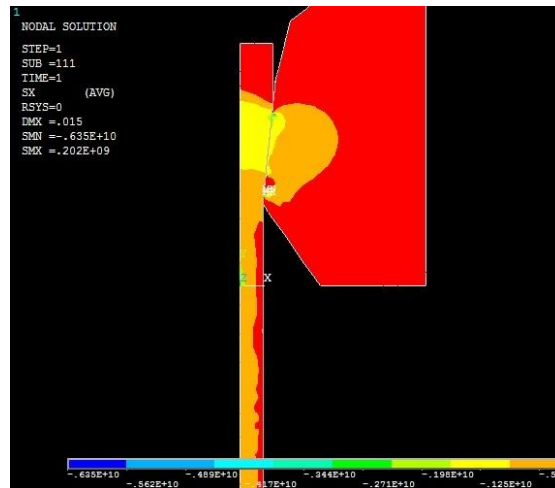


Рисунок 3 – Радиальные напряжения

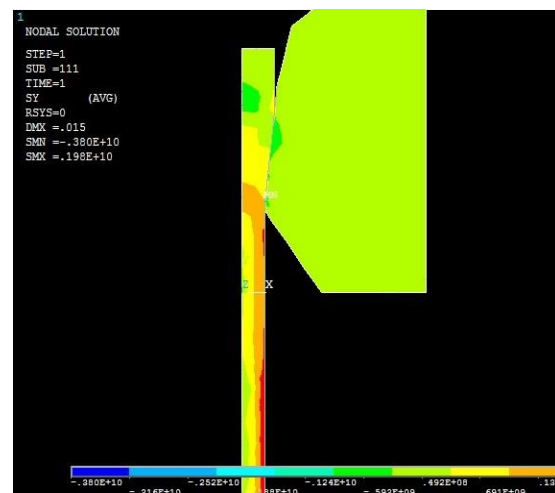


Рисунок 4 – Осевые напряжения



Анализ эпюр радиальных и осевых напряжений показывает, что наибольшие радиальные напряжения возникают в начале деформирующей зоны, достигая 1440 МПа, и убывают к ее концу до 612 МПа. По сечению же проволоки радиальные напряжения убывают от периферии проволоки к ее центру. Следует отметить, что в периферийной зоне проволоки, прошедшей сквозь волоку, возникают остаточные растягивающие радиальные напряжения, достигающие 200 МПа. Осевые же напряжения возрастают к концу деформирующей зоны, достигая 1460 МПа. Такое распределение осевых напряжений, очевидно, связано с уменьшением диаметра проволоки при ее движении сквозь волоку. По сечению проволоки осевые напряжения распределяются в целом равномерно. Такое распределение напряжений вполне соответствует физическому смыслу задачи и подтверждает адекватность модели реальной конструкции. Сравнение полученных эпюр с существующими приближенными аналитическими решениями [2], [3] показывает сходный характер распределения напряжений и удовлетворительное совпадение численных значений.

Своеобразным контролем точности полученного конечноэлементного решения может служить сравнение интенсивности деформации при численном и аналитическом решении. Экспериментально для обжатия и угла деформирующего конуса волоки получено значение 0.83. Наше же решение дает 0.85. Таким образом, результаты оказываются весьма близкими, что еще раз подтверждает правильность принятого подхода к исследованию процесса волочения.

Конечноэлементное моделирование процесса волочения дает результат, в целом совпадающий с экспериментальными значениями. Анализ результатов выявил наиболее напряженные зоны проволоки и позволил получить исчерпывающее представление о ее поведении в процессе волочения. Полученные результаты позволяют перейти к исследованию влияния различных параметров волочения (скорости, температуры, свойств смазки, угла



деформирующего конуса волокни) на напряженное состояние проволоки. В некоторой степени эти вопросы рассмотрены в работах [4]. Основной же задачей является изучение напряженно-деформированного состояния проволоки на всем маршруте волочения (от исходной катанки до готовой проволоки) с учетом изменения ее механических характеристик на каждом из этапов. Это даст возможность оптимизировать процесс волочения и предложить новые конструкции волок и способы смазки, снижающие износ и увеличивающие срок службы этого инструмента.

Список литературы:

1. Хромов В. Г., Хромов И. В. Выбор аппроксимирующей функции для диаграммы растяжения материала в задачах технологической механики стержня // Вестник СевНТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. – Севастополь, 2007. – Вып. 80. – С.2 – 22
2. Качанов Л. М. Основы теории пластичности / Л. М. Качанов.– М.: Наука, 1969.–420 с.
3. Шилц Р. Пластическое движение в сходящемся коническом канале // Сб. «Механика» - М.: Изд-во АН СССР, 1960. – С. 183-191
4. Колмогоров В. Л. Гидродинамическая подача смазки / В. Л. Колмогоров, С. И. Орлов, Г. Л. Колмогоров. – М.: Металлургия, 1975. - 256 с.