

УДК 621.7

В.В. Леонтьев, доцент, канд. техн. наук,**В.Г. Хромов, профессор, д-р техн. наук***Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053**E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua***МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ПРОВОЛОКИ С УЧЕТОМ ЕЕ НАГРЕВА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ANSYS**

С помощью программы ANSYS методом конечных элементов исследуется напряженно-деформированное состояние стальной проволоки в процессе волочения с учетом ее нагрева.

Ключевые слова: *пластическое течение металла, волочение, нагрев, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов.*

Исследование напряженного состояния проволоки при волочении сводится к решению задачи пластического течения металла в конической матрице - волоке. Она рассматривалась многими авторами, в частности, в [1], [3], однако их решения сводились в основном к определению усилия вытяжки, но не давали полной картины напряженно-деформированного состояния проволоки в очаге деформации. Эти решения приводят к достаточно сложным зависимостям, затрудняющим их практическое использование. В то же время результаты получаются приближенными, поскольку аналитическими методами затруднительно учесть сложный характер формоизменения металла в волоке.

Следует отметить, что в процессе волочения, особенно высокоскоростного, происходит значительный (до 700 °С, как отмечено в [2]) разогрев зоны контакта проволоки с матрицей. При этом меняются механические характеристики материала проволоки, в частности, его предел текучести. Кроме того, возникают температурные деформации и напряжения. Существующие решения не учитывают и этих особенностей волочения.

Вследствие указанных причин актуальной становится задача численного моделирования напряженно-деформированного состояния металла с учетом его разогрева при волочении, что является целью исследований.

Постановка задачи. В данной статье приведено решение задачи о напряженно-деформированном состоянии стальной канатной проволоки, учитывающее ее нагрев в процессе волочения, методом конечных элементов с помощью широко известной и хорошо зарекомендовавшей себя программы ANSYS. Приняты следующие основные допущения:

- 1) задача решается в статической постановке;
- 2) задача является осесимметричной;
- 3) между матрицей и проволокой возникает кулоновское трение с коэффициентом 0,005;
- 4) материал проволоки изотропный, упруго-пластический; модель упрочнения – нелинейная кинематическая; материал матрицы – изотропный, упругий;
- 5) противонапряжение проволоки отсутствует.

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

При моделировании процесса волочения использовалась реальная волока по ГОСТ 9453-75 форма 8. Чертеж волоки приведен на рисунке 2. Волока 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, полученная по зависимости, приведенной в [4]. Учет же влияния температуры на предел текучести материала проволоки проводился по следующей зависимости:

$$\sigma_T = 1775,8 \epsilon_{cp}^{0,4001} (\exp(-0,0007739t)),$$

где ϵ_{cp} – среднее значение интенсивности деформаций; t – температура, С.

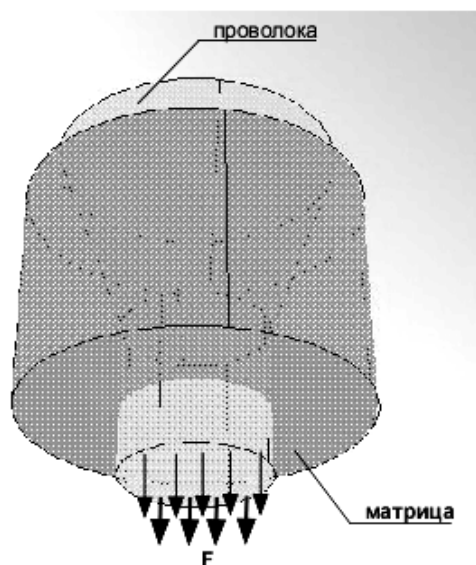


Рисунок 1 – Схема волочения

При принятых размерах волокна среднее значение интенсивности деформаций, подсчитанное по методике, описанной в [2], составляет 0,7554.

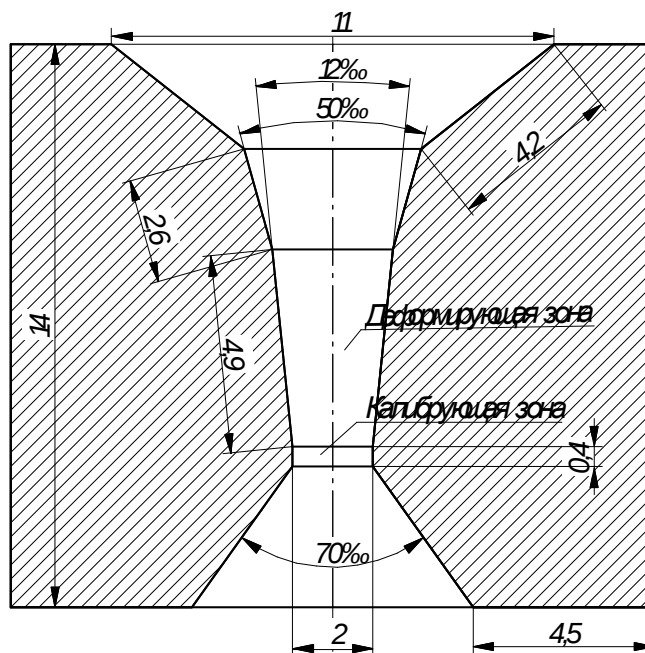


Рисунок 2 – Чертеж волокна

График изменения предела текучести от температуры приведен на рисунке 3. Из него видно, что с ростом температуры предел текучести существенно уменьшается и при температуре 700 °С составляет 923 МПа против 1500 МПа для комнатной температуры.

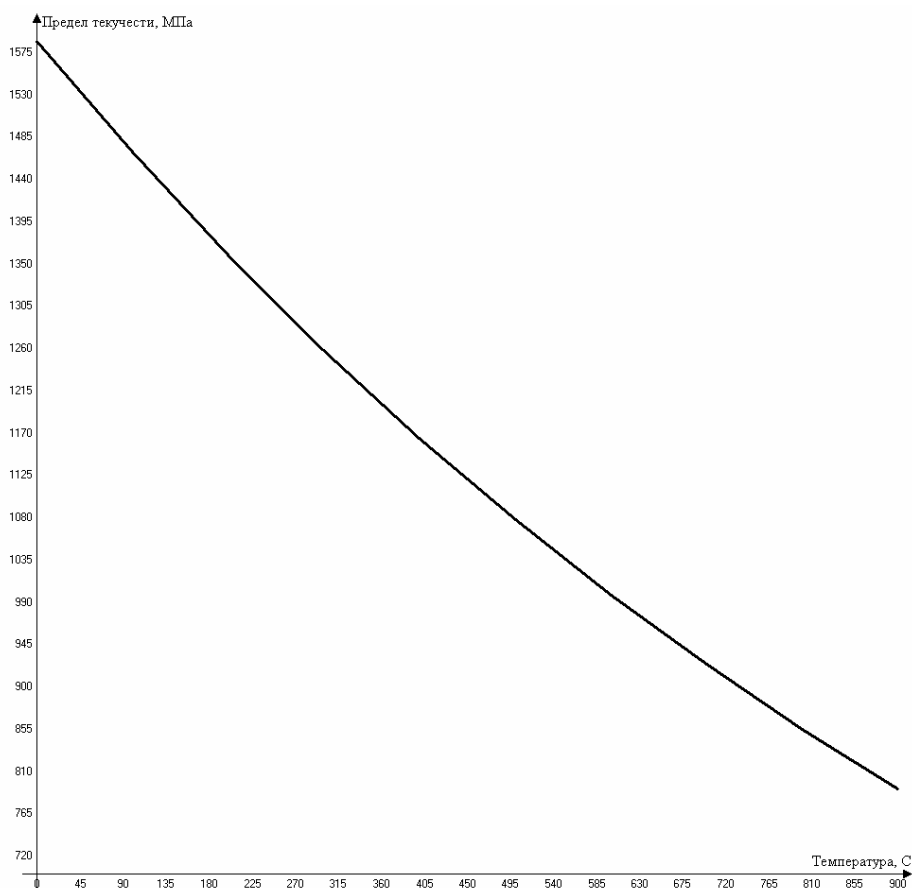


Рисунок 3 – Зависимость предела текучести материала проволоки от температуры

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. Конечно-элементная модель изображена на рисунке 4.

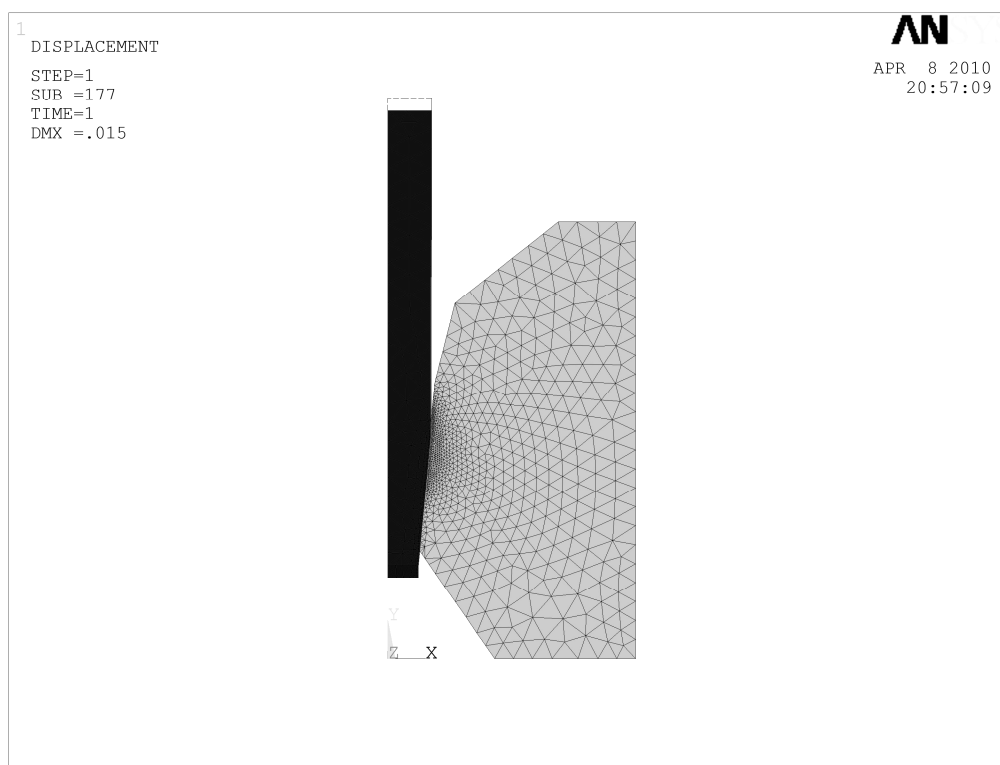


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель волочения

Граничные условия формулировались следующим образом: радиальные перемещения точек продольной оси проволоки отсутствуют, что естественно для осесимметричной задачи; волока неподвижна; температура наружного слоя проволоки в деформирующей зоне принималась равной 700 С.

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.

Анализ результатов. В полученном численном решении основной интерес представляют напряжения в радиальном и осевом направлении в сравнении с результатами, полученными без учета влияния температуры [5]. На рисунке 5 показано распределение радиальных напряжений σ_r для проволоки, прошедшей сквозь волоку, а на рисунке 6 – распределение осевых напряжений σ_y . Анализ этих эпюр показывает, что при учете температуры наибольшие радиальные напряжения возникают в начале деформирующей зоны, достигая 910 МПа против 1440 МПа без учета температуры, и убывают к ее концу до 360 МПа против 612 МПа. Осевые же напряжения возрастают к концу деформирующей зоны, достигая 920 МПа против 1460 МПа, полученных без учета разогрева проволоки. 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.

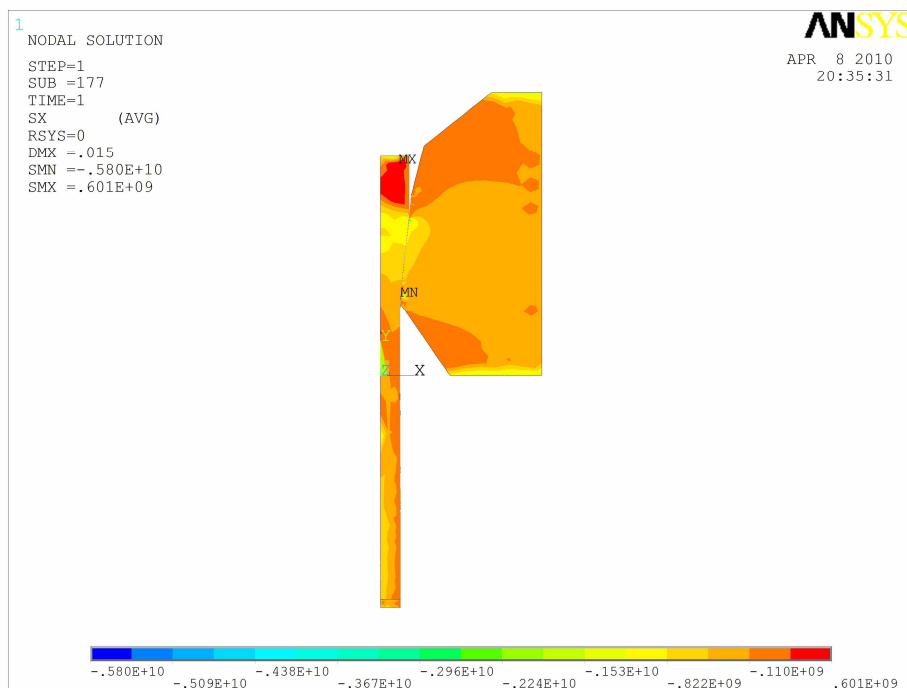


Рисунок 5 – Радиальные напряжения

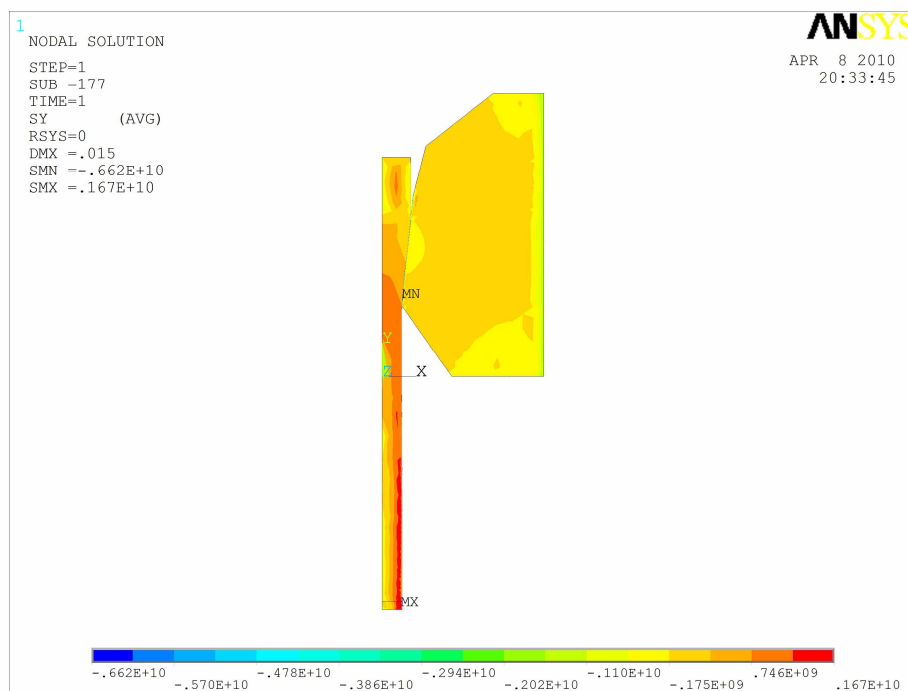


Рисунок 6 – Осевые напряжения

Выводы

1. Учет разогрева проволоки при волочении показывает, что напряжения в ней оказываются существенно (на 40-50 %) меньше получаемых без учета разогрева. Это связано, очевидно, с уменьшением предела текучести ее материала с ростом температуры.

2. Анализ результатов конечноэлементного моделирования выявил наиболее напряженные зоны проволоки и позволил получить адекватное представление о ее поведении в процессе волочения с учетом разогрева.

Полученные результаты позволяют дать рекомендации по совершенствованию процесса волочения с целью уменьшения числа промежуточных этапов деформирования при увеличении обжатия на каждом из них. Кроме того, представляется возможным уменьшить усилие вытяжки. 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.

Библиографический список

1. Качанов Л.М. Основы теории пластичности / Л.М. Качанов. — М.: Наука, 1969. — 420 с.
2. Колмогоров В.Л. Гидродинамическая подача смазки / В.Л. Колмогоров, С.И. Орлов, Г.Л. Колмогоров. — М.: Металлургия, 1975. — 256 с.
3. Шилц Р. Пластическое движение в сходящемся коническом канале / Р. Шилц // Механика. — 1960. — С. 183–191.
4. Хромов В.Г. Выбор аппроксимирующей функции для диаграммы растяжения материала в задачах технологической механики стержня / В.Г. Хромов, И.В. Хромов // Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь, 2007. — Вып. 80. — С. 20–22.
5. Леонтьев В.В. Моделирование процесса волочения стальной канатной проволоки методом конечных элементов с помощью ANSYS / В.В. Леонтьев // Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем и элементов их конструкций: матер. междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 8-11 сентября 2009 г. — Севастополь, 2009. — С. 160–163.

Поступила в редакцию 15.02.2010 г.