

СЕКЦИЯ VIII ФИЗИЧЕСКИЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ АЛГЕБРЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ МАРШРУТА ВОЛОЧЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

Д. А. Помаз

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

Научный руководитель С. И. Прач

Системы компьютерной алгебры (СКА) прочно вошли во многие научные сферы, включая математику, физику, химию и информатику, а также в инженерную, технологическую и образовательную. Программы, такие как MathCAD, MatLab, Maple, Mathematica, Reduce, MuPAD, Derive, Magma, Macsyma и Axiom, приобретают все большую популярность для обучения, научных исследований и промышленного применения. Эти системы являются ценными инструментами для специалистов в различных областях. Исследования, в которых применяются СКА, часто объединяют аналитические методы с передовыми вычислительными техниками. Рассмотрено волочение проволоки – процесс обработки металла давлением, заключающийся в последовательном, однократном или многократном прохождении заготовки через специальный инструмент (волоку) для поэтапного уменьшения ее поперечного сечения.

Ключевые слова: системы компьютерной алгебры, волочение, проволока, оптимизация, маршрут волочения.

В ходе волочения проволоки не только изменяются размеры и форма заготовки, но и значительно изменяются физико-механические свойства и структура металла.

Основной проблемой при современном волочении проволоки является ее обрывность, вызванная снижением пластичности. Для решения этой проблемы была разработана методика оптимизации траекторий волочения [1–3].

Для упрощения и автоматизации расчетов мы применяем пакет MathCAD, согласно разработанной ниже методике:

Определение начальных параметров для расчета траектории волочения: сведения о волочильном оборудовании; начальный диаметр проволоки с допустимым отклонением (d_0 , мм); конечный диаметр проволоки с допустимым отклонением (d_k , мм) и др.

Расчет стандартного процесса волочения для определенного диаметра и свойств проволоки, обеспечивающего приемлемое качество. На этом этапе определяются параметры деформации и кинематики, а также энергосиловые режимы: значения вытяжек на каждом переходе μ_i ; коэффициент износа β_i ; скорость волочения V_i ; линейные скорости вращения тяговых шайб B_i ; величины относительного скольжения C_i ; диаметры волок при разработке нового маршрута волочения d_i мм; пределы прочности проволоки σ_{bi} , МПа; средняя температура сечения проволоки и температура поверхности проволоки, °С, с учетом охлаждения проволоки в ванне со смазкой на всех переходах волочения до температуры t_0 :

– средняя температура поверхности проволоки:

$$t_{\Pi i} = t_{0i} + 0,3\sigma_{bi}(1 - 1/\mu_i) + 2,75\sigma_{bi}\sqrt{V_i d_i 10^{-3}}; \quad (1)$$

длина очагов деформации l_i , мм; время прохода элементарной точки поверхности проволоки через зоны деформации волок t_i , с; относительное обжатие проволоки δ_i ; скорость деформации ϵ_i , 1/с; итоговая логарифмическая деформация для каждой проволоки $\epsilon \Sigma_i$; сопротивление пластической деформации проволоки для каждого перехода волочения в зависимости от деформационного упрочнения σS_i ; коэффициент влияния скорости деформации на сопротивление пластической деформации Z_i ; сопротивление пластической деформации проволоки для каждого перехода волочения в зависимости от деформационного и скоростного упрочнения σS_i , МПа; модуль упрочнения проволоки w , МПа; коэффициент, определяющий степень противонапряжения проволоки K_i ; напряжение волочения σv_i , МПа; коэффициент запаса волочения

$$\gamma_i = \sigma v_i / \sigma S_i; \quad (2)$$

усилия волочения P_i и усилия противонапряжения Q_i , Н; мощность волочения N_i , кВт; радиальное нормальное напряжение в очаге деформации σ_i , МПа; среднее напряжение очага деформации $\sigma \sigma_i$, МПа; коэффициент напряженного состояния очага деформации k_i ; интенсивность сдвиговой деформации разрушения A_{pi} ; интенсивность деформации сдвига в очаге деформации A_i .

Проверка соответствия всех рассчитанных параметров (пункт 2) допустимым значениям, установленным для оборудования и материала.

Внесение предлагаемых изменений в процесс волочения для его оптимизации. Формируется набор исходных данных (пункт 1) для измененного процесса, с учетом предложенных корректировок режимов, при этом конечный диаметр и свойства проволоки сохраняются. Расчет измененного процесса производится по пунктам 2 и 3 с использованием обновленных данных.

Общая оценка эффективности оптимизированной траектории волочения.

В качестве примера применения предлагаемой методики, рассмотрим маршрут волочения ультравысокопрочной проволоки (УТ) диаметром 0,35 мм из стали 96, легированной хромом, на стане тонкого волочения НТ12.6, начиная с заготовки диаметром 2,3 мм, при базовой температуре поверхности 540 °С, для которого были определены диаметры волок для каждого этапа: 2300-2116-1934-1768-1616-1477-1350-1234-1128-1031-942-861-787-720-658-601-550-506-466-429-394-369-350 мкм, а также другие параметры.

Результаты оптимизации новой траектории волочения

Маршрут волочения	$t_{\text{п}}$, °С
21 волока, 10 м/с	738
21 волока, 4 м/с, базовый	529
28 волок, (7 сдвоенных), 4 м/с	492
28 волок, (7 сдвоенных), 5,5 м/с	544
28 волок, (7 сдвоенных), 6 м/с	560

Анализ данных в табл. 1 показывает, что режим с 7 сдвоенными волоками и скоростью 5,5 м/с является наиболее оптимальным. Все расчетные параметры соответствуют рекомендованным значениям, достигнута требуемая температура поверхности проволоки при максимальной скорости. Это ведет к улучшению пластических свойств проволоки при сохранении высокой производительности.

Представленные результаты демонстрируют успешное применение разработанной методики для оптимизации процесса волочения проволоки с использованием пакета MathCAD. Анализ показывает, что выбор оптимального маршрута волочения, учитывающий такие параметры, как количество волок, скорость волочения и температура поверхности проволоки, напрямую влияет на качество конечного продукта и производительность процесса.

Особое внимание уделено критически важному параметру – температуре поверхности проволоки. В примере оптимизации маршрута была получена температура в 544 °С при использовании 7 сдвоенных волок и скорости 5,5 м/с, что является наиболее эффективным решением по сравнению с другими рассмотренными вариантами.

Сравнение с базовым процессом (21 волока, 4 м/с, $t_{\text{п}} = 529$ °С) выявило значительные преимущества предложенного маршрута. Новый маршрут позволяет достичь необходимой температуры поверхности проволоки при более высокой скорости волочения, что положительно сказывается на производительности. Кроме того, увеличение числа волок (с 21 до 28) при одновременном использовании сдвоенных волок позволяет более равномерно распределить деформацию и тепловыделение, что также способствует повышению пластичности и снижению риска обрывов.

Таким образом, разработанная методика и результаты оптимизации подтверждают возможность повышения пластических свойств проволоки при сохранении высокой производительности. Это достигается за счет грамотного подбора параметров волочения, основанного на комплексе расчетов, моделируемых в среде MathCAD. Применение СКА-технологий, как показано в данном исследовании, является мощным инструментом для решения сложных инженерных задач в области обработки металлов давлением.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на более детальный анализ влияния каждого из рассчитанных параметров на конечные свойства проволоки, а также на разработку адаптивных систем управления процессом волочения, которые могли бы в реальном времени корректировать параметры в зависимости от возникающих запросов.

Л и т е р а т у р а

1. Колмогоров, В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушения / В. Л. Колмогоров – М. : Металлургия, 1970 – 162 с.
2. Колмогоров, В. Л. Механика обработки металлов давлением / В. Л. Колмогоров – М. : Металлургия, 1986. – 688 с.
3. 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. – Вып. 3. – С. 205–209.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТЕНТА НА СТЕНКУ АРТЕРИИ

А. П. Старовойтов, И. П. Старовойтов

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

Научный руководитель А. И. Столяров

Выполнен расчет напряжений и деформаций в атеросклеротической артерии при раскрытии стента.

Ключевые слова: артерия, атеросклеротическая бляшка, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, стент.