

## ОПЫТ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ QFORM 2D/3D

### EXPERIENCE IN SIMULATION THE PRODUCTION OF PIPES WITH THE APPLICATION SOFTWARE QFORM 2D/3D

В.В. Широков, А.В. Король, А.А. Корсаков, А.О. Ашенбрейнер,  
Е.В. Храмков, Д.А. Михалкин

Открытое акционерное общество «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности»  
Россия, 454139,  
Челябинск, ул. Новороссийская, 30,  
[rosniti@rosniti.ru](mailto:rosniti@rosniti.ru); [secretariat@rosniti.ru](mailto:secretariat@rosniti.ru)

#### Abstract

*Application of the program finite element calculation for QForm 2D/3D modeling of the piercing on the screw rolling mill and pipe rolling on a continuous mandrel mill. Considered the stress-strain state of the metal in the deformation zone of a piercer, influence of the front underthrust on the degree of filling of gauge of continuous rolling mill.*

Программный комплекс QForm 2D/3D предназначен для моделирования и оптимизации процессов обработки металлов давлением. Программа основана на методе конечных элементов, разработана фирмой «КванторФорм» (РФ). Данная программа приобретена ОАО «РосНИТИ» весной 2012 года. За это время использовалась для решения ряда задач, связанных с различными технологическими этапами производства труб, в частности, для исследования процессов обработки металлов давлением, а также для проверки и уточнения результатов расчетов, как прокатного инструмента, так и технологических параметров, проведенных по инженерным методикам.

При помощи компьютерного моделирования исследована пластическая деформация металла в процессе прошивки на двухвалковом стане винтовой прокатки с направляющими линейками.

Основной проблемой при винтовой прошивке является образование дефектов на внутренней поверхности гильз. Причиной образования внутренних дефектов на гильзах является разрушение центральной зоны заготовки перед носком оправки. Разрушение осевой зоны металла связано со спецификой напряженно-деформированного состояния заготовки при винтовой прошивке.

Для исследования характера изменения напряжений в осевой зоне заготовки было произведено компьютерное моделирование процесса винтовой прокатки за один полный цикл (рис. 1, 2)

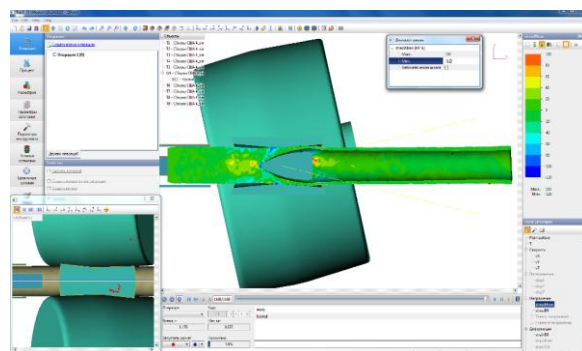


Рис.1 – Продольный разрез очага деформации

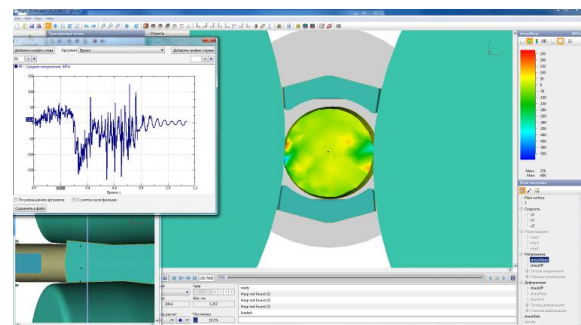


Рис. 2 – Поперечный разрез очага деформации

На базе компьютерного моделирования определен характер изменения напряженно-деформированного состояния металла при винтовой прокатке за один полный оборот, который можно разбить на четыре стадии:

1) в момент контакта заготовки с валком усилия, действующие на нее со стороны инструмента, имеют сосредоточенный характер. Сжимающие напряжения не успевают дойти до центра заготовки. Преобладают реакционные растягивающие нормальные напряжения, возникающие на поверхностных слоях заготовки не контактирующих с валком, что способствует появлению нормальных растягивающих напряжений в ее центральной зоне. Максимальное значение, реакционных растягивающих напряжений достигается за  $\frac{1}{4}$  оборота заготовки;

2)  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{2}$  оборота заготовки. Реакционные растягивающие нормальные напряжения снижаются из-за действия валков на соседний, набегающий объем металла. В момент совершения заготовкой  $\frac{1}{2}$  оборота валки вновь воздействуют на заготовку и возникают нормальные сжимающие напряжения на поверхностных слоях заготовки, что способствует уменьшению нормальных растягивающих напряжений в ее центральной зоне;

3)  $\frac{1}{2}$  -  $\frac{3}{4}$  оборота заготовки. Рост нормальных растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки из-за преобладания реакционных растягивающих напряжений, возникающих на поверхностных слоях заготовки не контактирующих с валком. Максимальное значение, реакционных растягивающих напряжений достигается за  $\frac{3}{4}$  оборота заготовки;

4)  $\frac{3}{4}$  - 1 оборот. Уменьшение реакционных растягивающих напряжений к концу цикла деформации и переход их в сжимающие напряжения вследствие контакта с валками, что способствует уменьшению нормальных растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки.

С каждым последующим оборотом заготовки значение экстремумов напряжения в центральной зоне заготовки возрастают вследствие роста усилия со стороны валков из-за увеличения ширины контактной поверхности и внеконтактной деформации. Величина внеконтактной деформации возрастает более интенсивно, что приводит к превалированию радиальных растягивающихся напряжений в центральной зоне заготовки и появлению дополнительных осевых растягивающих напряжений, вследствие чего материал центральной зоны заготовки подвергается объемной схеме всестороннего растяжения, благодаря которой и происходит разрушение металла. Характер изменения осевых растягивающих напряжений представлен на рис. 3.



Рис. 3 - Средние нормальные напряжения заготовки при винтовой прокатке

Из практики трубопрокатного производства известно, что наличие подпирющих сил со стороны оправки резко уменьшает осевые растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки в очаге деформации, что способствует увеличению прошиваемости заготовки и

уменьшает или «заваривает» вскрытие осевой зоны металла.

На рис. 4 показано изменение средних нормальных напряжений в центральной зоне заготовки вдоль очага деформации от начала захвата до момента ее встречи с торцом оправки.

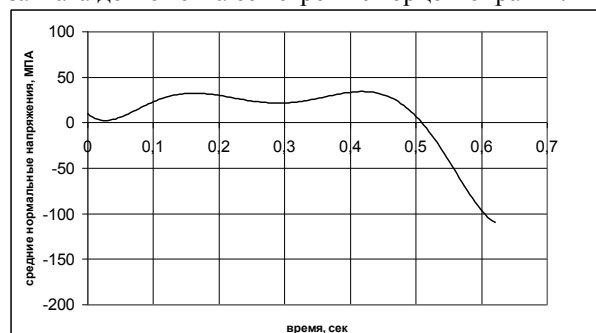


Рис.4 – Средние нормальные напряжения в осевой зоне при наличии оправки в очаге деформации

В данной работе при помощи моделирования в QForm исследовалось влияние коэффициента овализации на уровень осевых растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки. Было смоделировано два процесса прошивки с коэффициентом овализации 1,16 и 1,20 (рис.5)

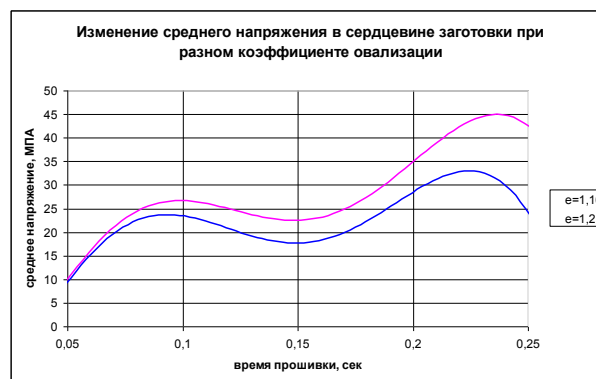


Рис. 5 – Влияние коэффициента овализации на растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки при ее прошивке

С увеличением коэффициента овализации увеличиваются растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки. При повышенном коэффициенте овализации увеличиваются реакционные растягивающие напряжения в периферийных слоях заготовки, которые не находятся в непосредственном контакте с рабочим инструментом, а следовательно увеличиваются растягивающие напряжения в центральной зоне заготовки.

Как правило, следующим этапом производства бесшовных труб является раскатка полученной на прошивном стане гильзы на непрерывном оправочном стане. В программе QForm было проведено моделирование процесса прокатки трубы в восьмиклетевом двухвалковом стане.

На рис. 6 представлено распределение продольной скорости течения металла труб по длине стана.

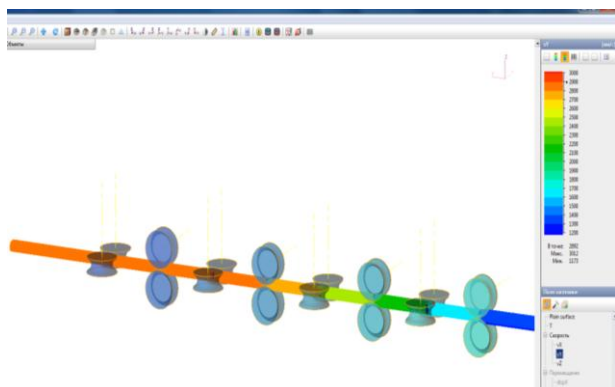


Рис. 6 – Продольная скорость течения металла трубы (мм/с)

Продольная скорость течения металла является весьма информативной величиной, позволяющей оценить правильность расчетов скоростных режимов для непрерывного стана. Скорость продольного течения металла можно определить согласно следующей зависимости:

$$v_i = \mu_i v_{i-1}; \quad (1)$$

где  $v_i$  и  $v_{i-1}$  – скорости металла, соответственно, до и после рассматриваемой клетки;

$\mu_i$  – коэффициент вытяжки в  $i$ -й клетки.

Обороты валков по клетям стана, как правило, задают следующей зависимостью:

$$n_i = \mu_i n_{i-1};$$

где  $n_i$  и  $n_{i-1}$  – частота вращения валков соответствующей клетки стана.

Данный скоростной режим обеспечивает прокатку труб без подпоров/натяжений. Отклонение от данного скоростного режима влечет за собой появление в стане межклетевых подпоров/натяжений, которые, в свою очередь, влияют на коэффициент вытяжки. Поэтому при расчетах скоростных режимов, как правило, пренебрегают изменением коэффициента вытяжки под действием подпоров и натяжений, возникающих в стане в процессе прокатки, поскольку учет этих изменений представляет собой достаточно сложный и трудоёмкий процесс. Применение компьютерного моделирования на основе метода конечных элементов, позволяет оценить насколько реальный скоростной режим работы непрерывного стана будет отличаться от расчетного с учетом влияния режима натяжений на коэффициенты вытяжки. В частности, результаты моделирования были использованы для оценки достоверности расчетов, проведенных по методике [1]. Сравнение результатов расчетов, проведенных в программе QForm, с результатами, полученными при расчете по используемой методике показали

высокую степень сходимости результатов (Рисунок 7). Максимальная погрешность составила 3%.

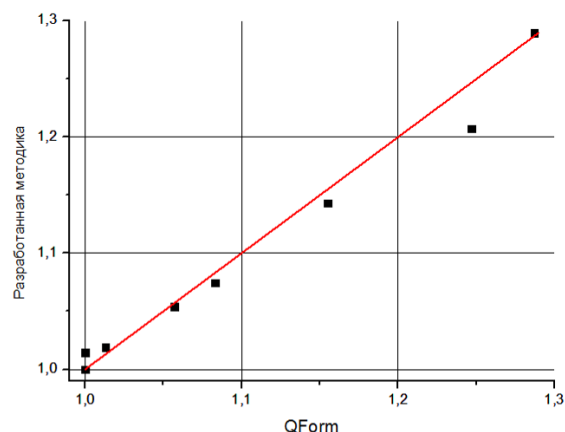


Рис. 7 - Сравнение расчета коэффициента вытяжки по известной методике с результатом моделирования в QForm

При разработке скоростных режимов прокатки на непрерывном оправочном стане, является степень заполнения калибра. Поэтому одной из целей моделирования было изучение заполнения калибра непрерывного стана при различных значениях переднего подпора (Рис. ).

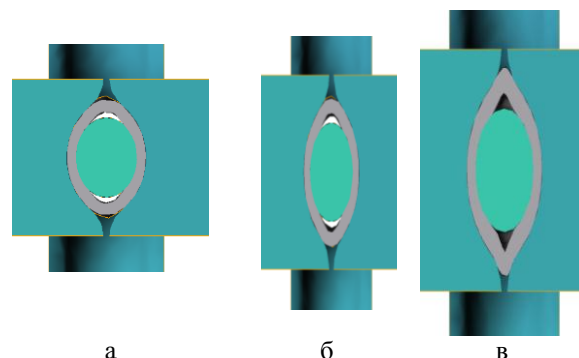


Рис. 8 - Степень заполнения калибра при различной величине переднего подпора: а – при величине переднего подпора 5 МПа; б - при величине переднего подпора 20 МПа; в - при величине переднего подпора 40 МПа

На рисунке 8 представлен очаг деформации второй клетки стана. В данном случае рассматривался процесс получения трубы  $\varnothing 150 \times 15,24$  мм из гильзы  $\varnothing 176 \times 25$  мм. Применение компьютерного моделирования позволило проследить изменение степени заполнения очага деформации при возрастании давления подпора. Полученные таким образом данные позволяют оценить, насколько соответствует калибровка валков условиям прокатки, с точки зрения возникновения переполнения калибра, а также оценить опасность окова оправки металлом трубы при прокатке с натяжением.

#### Выводы:

Полученные результаты моделирования соответствуют основным положениям теории обработки металлов давлением.

Моделирование процесса винтовой прокатки позволило объяснить характер изменения напряженно-деформированного состояния металла при винтовой прокатке за один оборот заготовки, а также подтвердить гипотезу о влиянии подпирающих сил со стороны оправки на прошиваемость металла и определить влияние коэффициента овализации на уровень осевых растягивающих напряжений в центральной зоне заготовки.

Высокая достоверность результатов компьютерного моделирования позволяет осуществлять проверку разработанных калибровок прокатного инструмента и скоростных режимов без проведения дорогостоящих опытных прокаток.

#### Список литературы

1. Выдрин, А.В. Компьютерное моделирование скоростного режима непрерывной прокатки труб / А.В. Выдрин, В.В. Широков // «Сталь» - 2011. – №2 – с. 56-58.