

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ЛИНИИ 1420 ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА

М.А. Товмасын^{1,2}, С.В. Самусев^{1,2}, О.С. Хлыбов²

¹Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

²ОАО «Выксунский металлургический завод»

На сегодняшний день существует лишь небольшое число промышленных методов изготовления труб большого диаметра. Методы формовки JCOE отличаются технологией формовки. По сравнению с технологией UOE и 3-валковой гибкой имеет возможность формовки заготовок с толщиной стенки до 50 мм, с инструментом, используемым в ОАО «Выксунский металлургический завод», и до 65 мм с применением в качестве инструмента специального ножа.

Работа в программном комплексе DEFORM состоит из трех этапов: подготовка данных в Препроцессоре, моделирование процесса (расчет), обработка результатов в Постпроцессоре.

Подготовка данных в Препроцессоре включает в себя:

- Определение типа объекта (жесткий, упругий, пластичный, упруго-пластичный, пористый)
- Определение геометрии (импортируем, редактируем или используем примитивы для построения)
- Создание сетки. При несении сетки на объект деталь делится на узлы и элементы. Элементы хранят в себе информацию, о свойствах материала и накопленной деформации, а в узлах хранится информация о контакте, скоростях, температуре и перемещениях. Узлы – это вершины элементов. Элементы соединяются в узлах
- Назначается материал. Любой объект, который имеет сетку, должен задаваться с учетом используемого материала.
- Назначаются граничные условия (если необходимо). Граничные условия служат для того, чтобы установить, какая граница объекта может взаимодействовать с другим объектом и с окружающей средой.

- Назначаются условия движения (если необходимо)

При моделировании процессов формоизменения в программном комплексе DEFORM вводятся данные по исходной заготовке: импортируем геометрию; создаем сетку, определяем тип объекта.

Для математического моделирования процесса упруго-пластического деформирования стальной заготовки применялись основные соотношения теории пластического течения упрочняющегося материала. Расчеты проводились с использованием билинейной аппроксимации диаграммы деформирования материала.

Элементы инструмента прессового оборудования моделировались как абсолютно жесткие тела в предположении малости их деформирования по отношению к заготовке. При вводе геометрии инструмента прорисовывалась геометрия рабочих поверхностей инструмента, непосредственно контактирующих с заготовкой, после выбора коэффициента трения.

Проведено математическое моделирование процессов: подгибки кромок одновременно с двух сторон, шаговой формовки по всей ширине трубной заготовки, доформовки прикромочной зоны заготовки по наружной поверхности, сборки и экспандирования.

Процесс подгибки продольных кромок листов при изготовлении ТБД подразделяется на два основных последовательных этапа (рис. 1): этап 1 – подгибка продольных кромок исходного листа (силовое воздействие); этап 2 – распружинивание после подгибки кромок трубной заготовки (разгрузка). После ввода всех необходимых данных исходной заготовки вводим данные по инструментам пресса подгибки кромок.

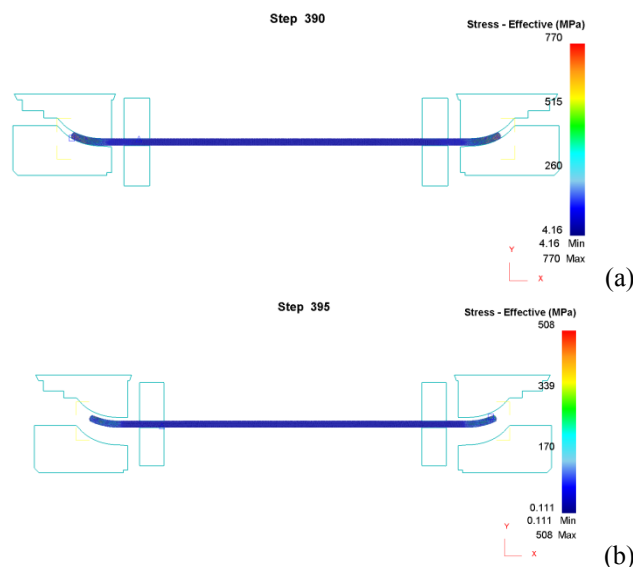


Рис. 1 Подгибка кромок трубной заготовки: (а) при нагрузке; (б) после разгрузки

Процесс пошаговой формовки по всей ширине при изготовлении ТБД 813x39 мм за 17 шагов и каждый шаг подразделяется на два основных последовательных 3 этапа: этап 1 – перемещение заготовки по горизонтали на расстояние равное $B/(n+1)$; где B – ширина исходной заготовки, n – количество шагов; этап 2 – формовка трубной заготовки (силовое воздействие); этап 3 – распружинивание после формовки трубной заготовки (разгрузка).

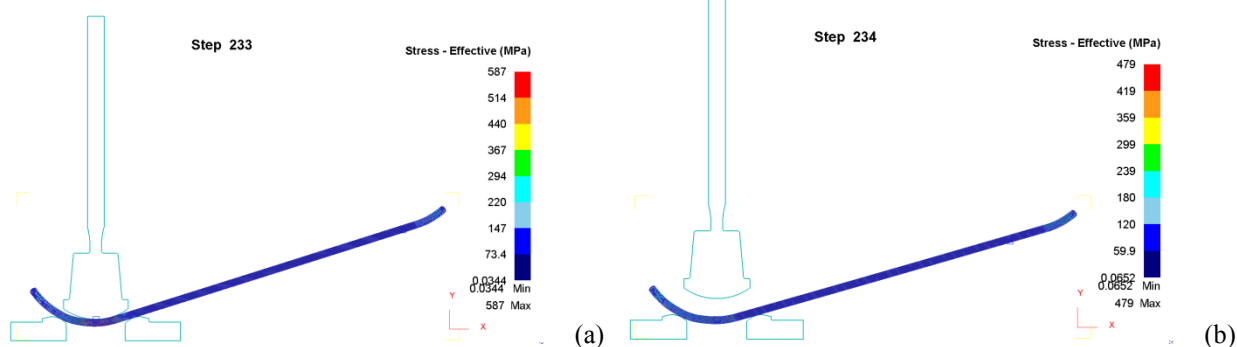


Рис. 2 Формовка трубной заготовки на втором шаге: (a) при нагрузке; (b) после разгрузки

Процесс доформовки, т.е. изгиба заготовки после шаговой формовки по наружной поверхности на определенном расстоянии от края кромки, производится снаружи за два шага и каждый шаг подразделяется на три основных этапа (рис. 3): этап 1 – догибка трубной заготовки (силовое воздействие); этап 2 – распружинивание после догибки трубной заготовки (разгрузка).

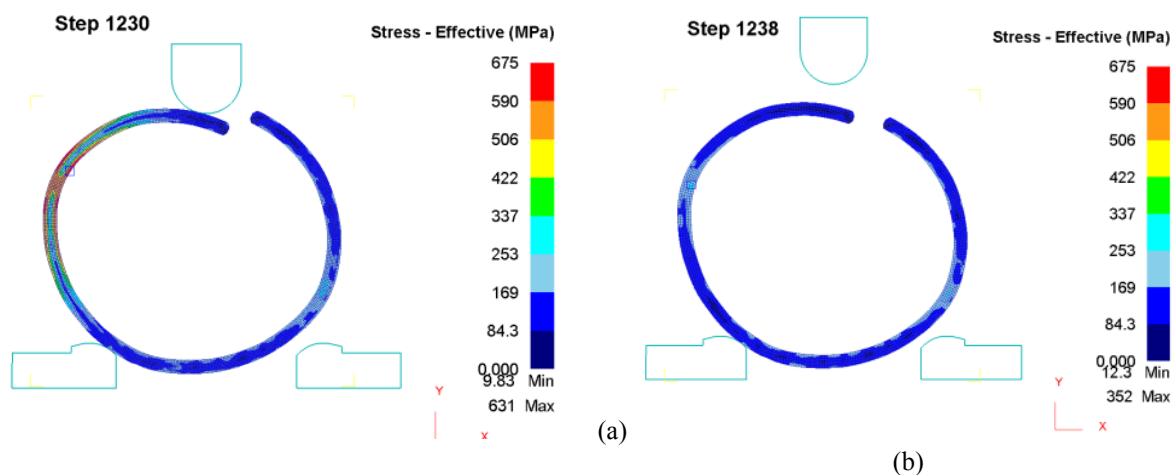


Рис. 3 Доформовка трубной заготовки: (a) при нагрузке; (b) после разгрузки

Деформирующим инструментом сборочного стана являются прижимные роликовые обоймы, которые предназначены для постепенного сжатия профиля трубных заготовок. Процесс сборки можно подразделить на следующие этапы: Устранение зазора боковыми роликами и превышения кромки верхним роликом (см. рис. 4).

При сборке трубной заготовки производится сварка технологического шва на сборочно-сварочном стане. В программном комплексе DEFORM, на данный момент времени, нет опций, позволяющие производить моделирование сварки, поэтому перед процессом экспандирования соединили крайние узлы заготовки (см. рис. 5).

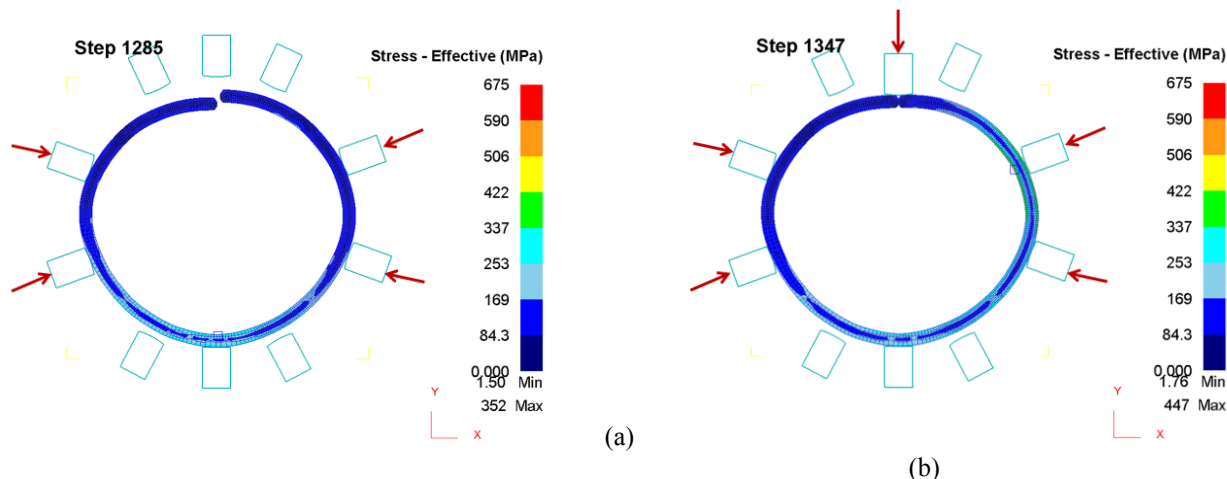


Рис. 4 Сборка трубной заготовки: (a) устранение зазора боковыми роликами; (b) устранения превышения кромки верхним роликом

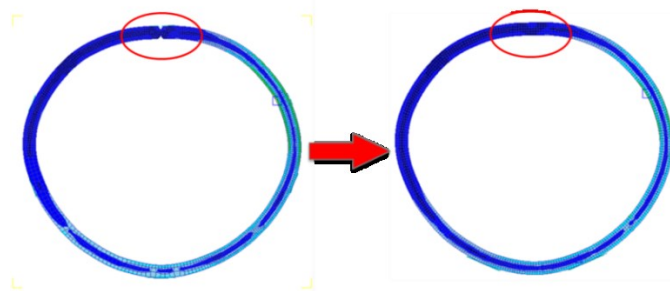


Рис. 5 Соединение прикромочных узлов заготовки

Экспандирование. Моделирование процесса экспандирования проводилось при непрерывной истории нагружения (изменения сложного нелинейного НДС). Процесс экспандирования при изготовлении ТБД подразделяется на 3 этапа: этап 1 – устранение овальности трубы (силовое воздействие); этап 2 – раздача трубы (силовое воздействие); этап 3 – разгрузка после экспандирования (см. рис. 6).

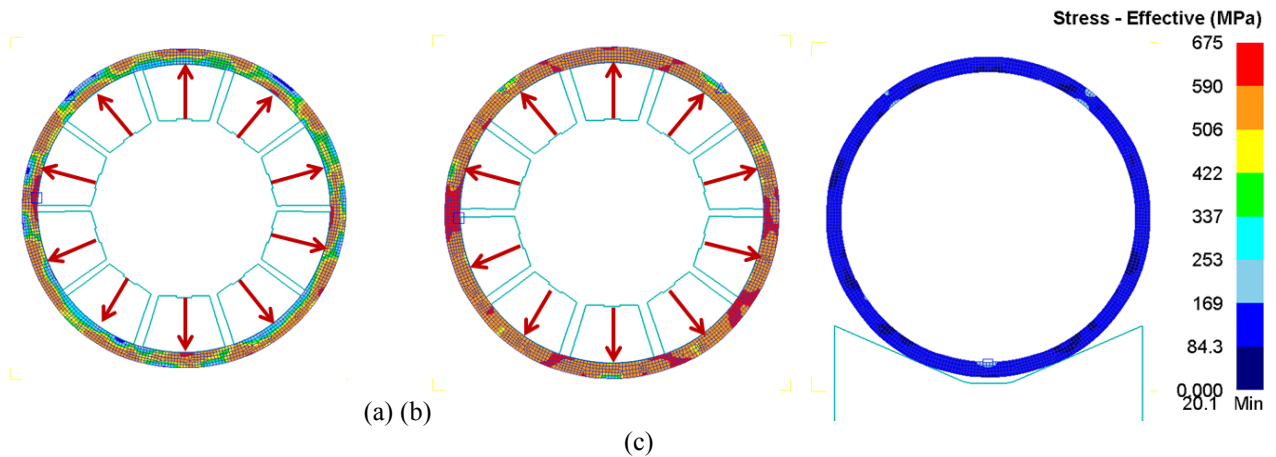


Рис. 6 Экспандирование: (а) устранение овальности трубы; (б) раздача трубы; (с) разгрузка

Для оценки процесс формоизменения трубной заготовки проведены экспериментальные исследования при подгибке кромок и пошаговой формовке толстостенной трубы методом фотограмметрии. Совмещение экспериментального и математического методов исследования позволило получить точные данные о формоизменении трубной заготовки (координаты точек всех сопряженных участков по ширине трубной заготовки). В предположении, что в указанных деформационных процессах реализуется плоскодеформированное состояние, полученные данные дают возможность оценить распределение напряжений, как в ходе деформирования, так и после него, т.е. остаточные напряжения после разгрузки. По результатам исследований проведен сравнительный анализ полученных расчетных и экспериментальных данных.

На рисунке 7 представлено сопоставление результатов эксперимента и численного моделирования процесса деформации при подгибке кромок. Ошибка расчета составила не более 5 %, что говорит о высокой адекватности модели.



Рис. 7 Распределение координат точек, полученных методом фотограмметрии

Заключение

В данной статье были рассмотрены математические модели деформации процессов при производстве труб большого диаметра по схеме JSOE методом конечных элементов. Модель позволяет предсказывать деформацию заготовки в зависимости от их механических свойств и приложенных сил, также позволяет проводить численные эксперименты по формоизменению заготовки и определению ограничений по усилию деформирования каждого представленного процесса.