

УДК 621.774.6

Федоринов В. А.
Завгородний А. В.
Тимошенко С. В.
Соломко А. А.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ПРИ ПРАВКЕ ТРУБ ОВАЛЬНОЙ ДЕФОРМАЦИЕЙ

Трубное производство является одним из важнейших в металлургическом комплексе Украины [1]. Основными факторами, определяющими широкое использование трубной продукции, является постоянное улучшение ее качественных характеристик и размерного сортамента, увеличение производства труб из низко- и высоколегированных, коррозионностойких марок.

С точки зрения расчета процессов правки труб и трубных заготовок известны методики Маскилейсона [2], отличительной особенностью которой является учет исходной кривизны изделия, а также математическая модель [3] напряженно-деформированного состояния металла при правке труб изгибом, которая в полной мере учитывает остаточные напряжения и деформации. Однако эти модели в недостаточной степени описывают правку тонкостенных труб, а также не учитывают овальную деформацию сечения.

Целью работы является уточнение исходных предпосылок для разработки конкретных технологий и условий реализации процесса правки труб овальной деформацией.

В рамках анализа напряженно-деформированного состояния металла при правке овальной деформацией, а также для уточнения предпосылок к проектированию нового и совершенствованию существующего оборудования был выполнен расчет с использованием метода конечных элементов в системе ABAQUS [4].

Рассматриваемая применительно к анализу процесса правки тонкостенных труб расчетная схема представлена на рис. 1.

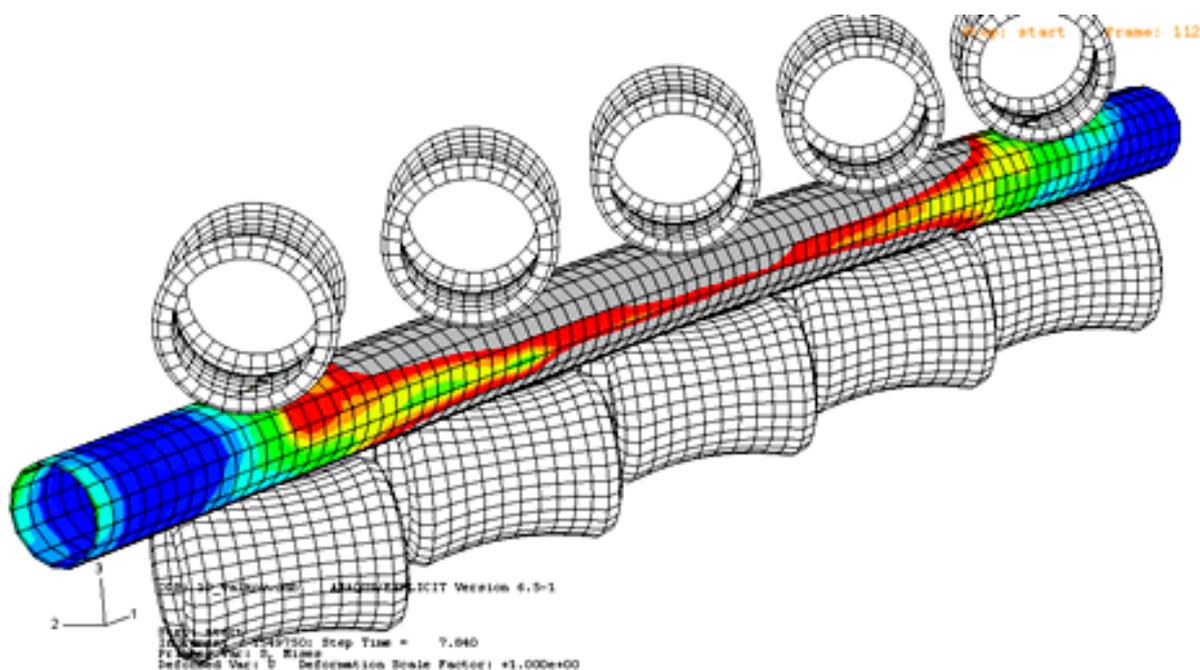


Рис. 1. Конечно-элементная модель процесса правки тонкостенных труб овальной деформацией

Моделирование заключалось в построении конечно-элементной сетки, а затем разбиении ее на конечное множество элементарных элементов. Модель валков была выполнена с использованием недеформируемых четырехузловых элементов типа R3D4 [5], а непрерывнолитая заготовка – четырехузловой элемент с контролем разрушения типа S4R [5].

Данные расчеты были выполнены применительно к десятивалковой трубоправильной косовалковой машине ОВВ900 × 5. В соответствии с этим шаг машины t был принят 900 мм, диаметр валков в горловине $D_2 = 360$ мм, длина бочки валка $L_6 = 530$ мм. Профилировка валков и определение угла установки валков осуществлялись по известным методикам [6].

Данные расчеты были выполнены применительно к трубам с отношением диаметра к толщине стенки D/S : 16, 19 и 22. Исходная конечно-элементная модель имеет следующие граничные условия: все валки (см. рис. 1) имеют две степени свободы – вращательную, а также возможность перемещения по оси «Y» глобальной системы координат для осуществления настройки модели на требуемый сортament и создания требуемого обжатия.

При расчетах была принята изотропная упругопластическая модель (рис. 2, а) материала заготовки с учетом упрочнения [5]:

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}(\bar{\varepsilon}^{nl}, \dot{\varepsilon}^{nl}, \theta, f_i), \quad (1)$$

где $\bar{\varepsilon}^{nl}$ – эквивалентная пластическая деформация;

$\dot{\varepsilon}^{nl}$ – скорость пластической деформации;

θ – температура;

f_i – другие предопределенные переменные [7].

Контакт между трубой и валками задавался при помощи модели контакта «Поверхность к поверхности» путем задания коэффициента трения $\mu = 0,3$, используя «classical isotropic Coulomb friction model»:

$$\tau_{крит} = \mu p, \quad (2)$$

где p – нормальные контактные напряжения в плоскостях сопряжения инструмента и деформируемой трубы [7].

Моделирование правильных валков (см. рис. 2, б) было выполнено в виде недеформируемой поверхности вращения, полученной путем вращения кривой профиля вокруг оси валка.

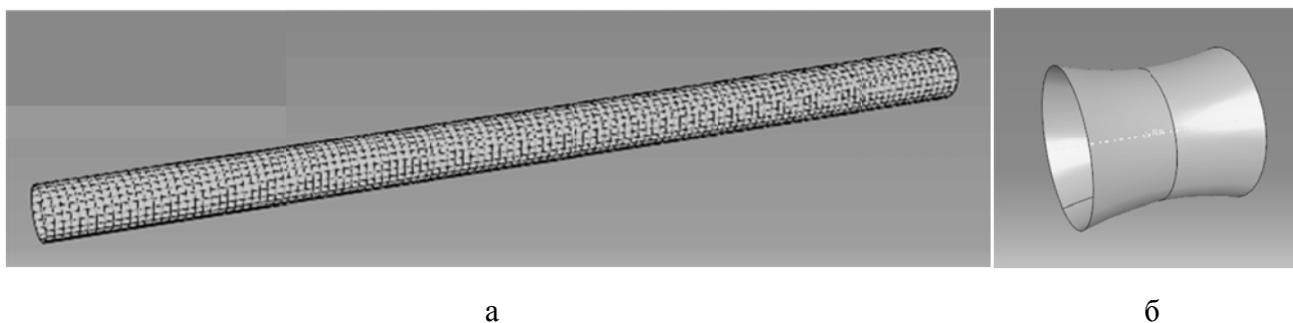


Рис. 2. Конечно-элементная модель трубы, подвергаемой правке (а), и рабочего валка (б) при моделировании процесса правки овальной деформацией

Процесс моделирования правки труб овальной деформацией осуществлялся в два этапа. Первый шаг заключался в применении граничных условий, описанных выше. Следующий шаг

заклучался в задании контрольным точкам валков перемещения по оси Y глобальной системы координат, чем создавалась настройка модели на данный сортament, а также создания обжатия трубы валками. После этого все валки приводились во вращение.

В качестве выходных параметров в данном случае выбирались проекции реакций в контрольных точках валков в глобальной системе координат $RF1$, $RF2$, $RF3$, а также напряжения в узлах конечных элементов трубы.

Проводя анализ полученных результатов, выяснилось, что максимальная сила правки действует при правке сечения с $D/S=16$. Распределения эквивалентных напряжений (рис. 3) представлены в графической форме в виде объемной деформированной модели.

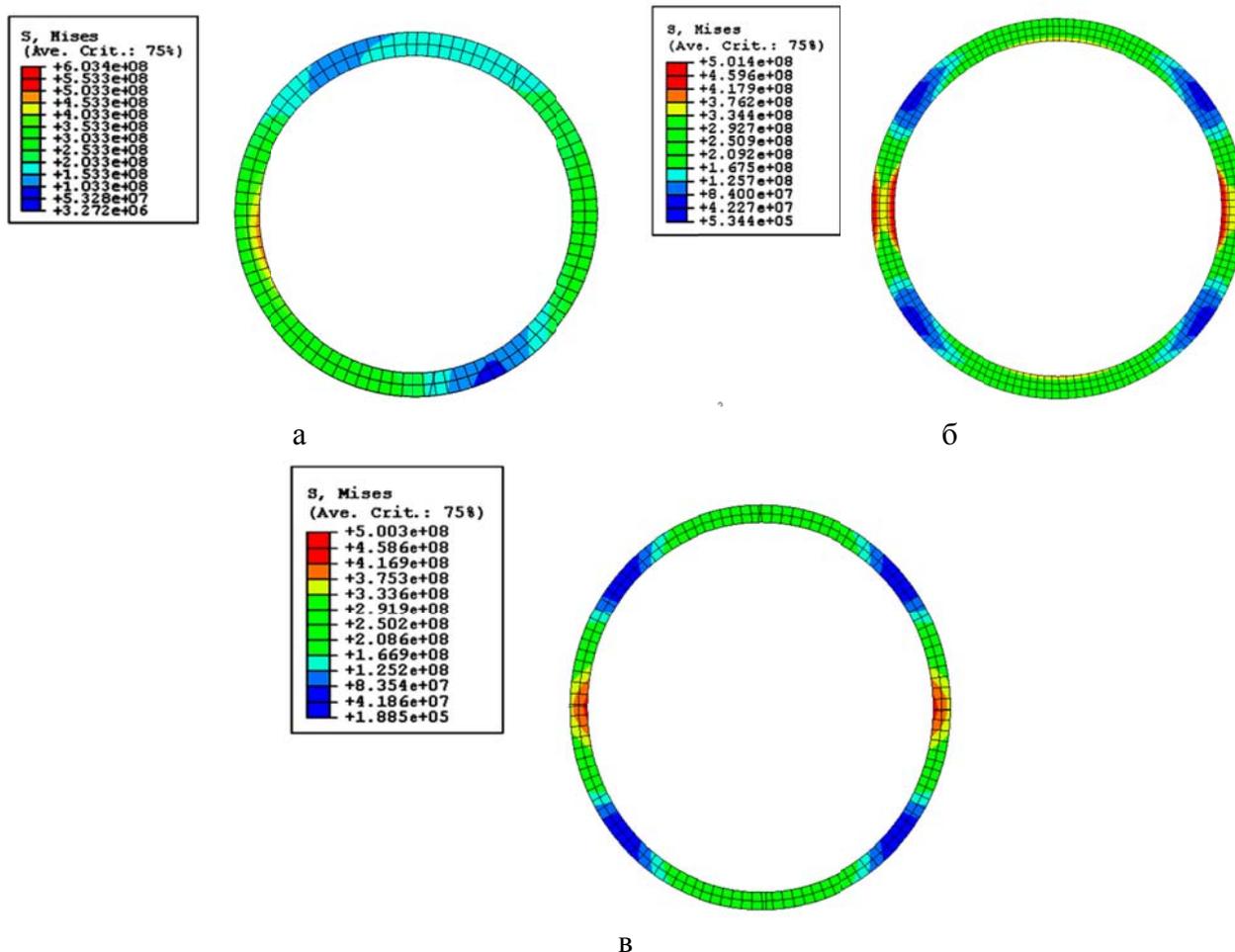


Рис. 3. Расчетные распределения эквивалентных напряжений по сечению при правке труб овальной деформацией с соотношением диаметра к толщине стенки $D/S=16$ (а), $D/S=19$ (б) и $D/S=22$ (в)

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о достаточно сложном характере механизма формирования напряженного состояния металла. На рис. 4 представлены зависимости силы овальной деформации при создании обжатия трубы валками правильной машины.

Полученные результаты исследования, а именно схему правки труб овальной деформацией, а также ограничение силы правки при создании прогиба валками с целью уменьшения овализации сечения, следует использовать при проектировании нового, и модернизации существующего оборудования для правки труб.

Все это подтверждает целесообразность разработки адекватных расчетных моделей, которые строго учитывают граничные условия, а также используют метод конечных элементов.

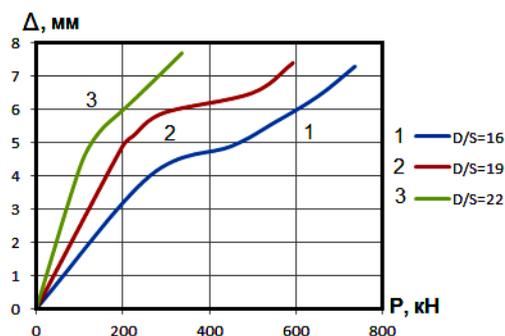


Рис. 4. Расчетные распределения силы овальной деформации при создании обжатия трубы валками правильной машины

ВЫВОДЫ

Результаты численной реализации свидетельствуют о достаточно сложном характере напряженного состояния, что подтверждает необходимость создания адекватных расчетных моделей, строгого учета граничных условий, а также использование метода конечных элементов. Проведенный теоретический анализ полученного технического решения, в том числе с использованием метода конечных элементов, позволяет сделать вывод о целесообразности применения метода правки труб овальной деформацией. Использование предложенной схемы правки позволяет прогнозировать энергосиловые параметры процесса, что делает возможным модернизацию действующего оборудования, а также созданию нового оборудования, габаритные размеры и масса которого не превышает оборудование ведущих мировых производителей. Схему правки овальной деформацией следует рекомендовать к правке тонкостенных и особотонкостенных труб.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Современное состояние мирового производства труб / Ю. Г. Круппман, Л. С. Ляховецкий, О. А. Семенов и др. – М. : Металлургия, 1992. – 353 с.
2. Завгородний Д. В. Методы расчета напряжений и деформаций при правке труб изгибом / Д. В. Завгородний, С. В. Новоселов, С. А. Шевцов // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2003. – С. 91–94.
3. Дворжак А. И. Напряженно-деформированное состояние металла при правке труб изгибом / А. И. Дворжак, Д. В. Завгородний, Н. В. Кучерук // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2006. – С. 183–187.
4. Манильк Т. Практически е рекомендації програмного комплексу ABAQUS в інженерних задачах. Версія 6.6. / Т. Манильк, К. Ильин. – М. : МФТИ, Тесис, 2006. – 68 с.
5. Завгородний Д. В. Прецизионная правка толстостенных труб нефтяного сортамента на десяти-валковых правильных машинах / Д. В. Завгородний, О. А. Гаврильченко, А. В. Завгородний // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2008. – № 1 (19). – С. 268–271.
6. Федоринов В. А. Совершенствование конструкции правильных машин с точки зрения повышения их работоспособности и эксплуатационных характеристик / В. А. Федоринов, Д. В. Завгородний // Захист металургійних машин від поломок : зб. наук. пр. – Маріуполь: ПДТУ, 2005. – Вип. 8. – С. 166–169.
7. Полухин П. И. Сопротивление пластической деформации металлов и сплавов : справочник / П. И. Полухин, Г. Я. Гунн, А. М. Галкин. – М. : Металлургия, 1983. – 352 с.

Федоринов В. А. – канд. техн. наук, проф., зав. кафедрой АММ ДГМА;

Завгородний А. В. – аспирант ДГМА;

Тимошенко С. В. – аспирант ДГМА;

Соломко А. А. – нач. цеха ООО «Кондиционер ЛТД».

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

ООО «Кондиционер ЛТД», г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 30.12.2011 г.