

УДК 621.774.6

Федоринов В. А.
Завгородний А. В.
Стежкин П. М.

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРАВКИ УГЛОВЫХ ПРОФИЛЕЙ НА СОРТОПРАВильНЫХ МАШИНАХ

Предприятия металлургического комплекса Украины относятся к крупнейшим поставщикам сортового длинномерного металлопроката на мировые рынки стали. В условиях жесткой конкуренции перед отечественными производителями одной из основных является проблема расширения сортамента, повышения качества и снижения себестоимости данного вида готовой металлопродукции, в том числе и за счет совершенствования технологической и оборудования производства сортовой заготовки [1].

С ростом требований к качеству получаемого проката обуславливает необходимость совершенствования технологических режимов правки, что в свою очередь, предъявляет дополнительные требования к методам расчета соответствующих технологий и оборудования [1–3].

Целью данной работы является уточнение математической модели для определения напряженно-деформированного состояния металла уголка, подвергаемого правке изгибом на сортоправильных машинах.

В рамках анализа напряженно-деформированного состояния металла при правке был выполнен расчет с использованием метода конечных элементов в системе ABAQUS [4]. Рассматриваемая применительно к анализу процесса правки расчетная схема представлена на рис. 1.

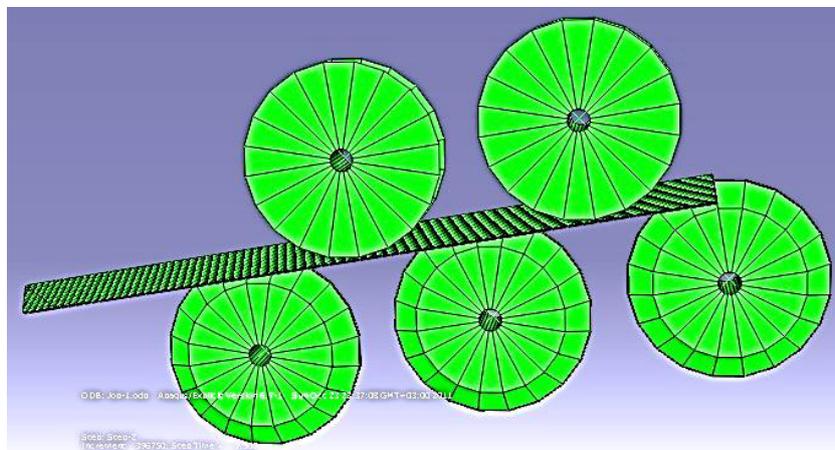


Рис. 1. Конечно-элементная схема условий реализации процесса правки угловых профилей на пятироликовых сортоправильных машинах

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 уголок – восьмиугольный элемент с контролем разрушения типа C3D8R [5].

Для расчета были взяты следующие данные: шаг машины t был принят 210 мм, диаметр нижних валков $D = 175$ мм, диаметр верхних валков $D = 130$ мм. Непосредственно моделирование процесса было выполнено для уголка 30×30 мм, и шириной полки 3 мм. Исходная конечно-элементная модель имеет следующие граничные условия: крайние нижние валки (рис. 1) имеют одну вращательную степень свободы, верхние валки имеют вращательную сте-

пень свободы и возможность перемещения по оси «Y» глобальной системы координат для осуществления настройки модели на требуемый сортамент и создания прогиба. Средний нижний ролик имеет две степени свободы – возможность вращения вокруг своей оси, а также перемещения по оси «Y» глобальной системы координат.

При расчетах была принята изотропная упругопластическая модель, изображенная на рис. 2, а, материала заготовки с учетом упрочнения [6, 7]:

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

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

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

θ – температура;

f_i – другие предопределенные переменные [8].

Контакт между заготовкой и роликами 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 заготовки [8, 9].

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

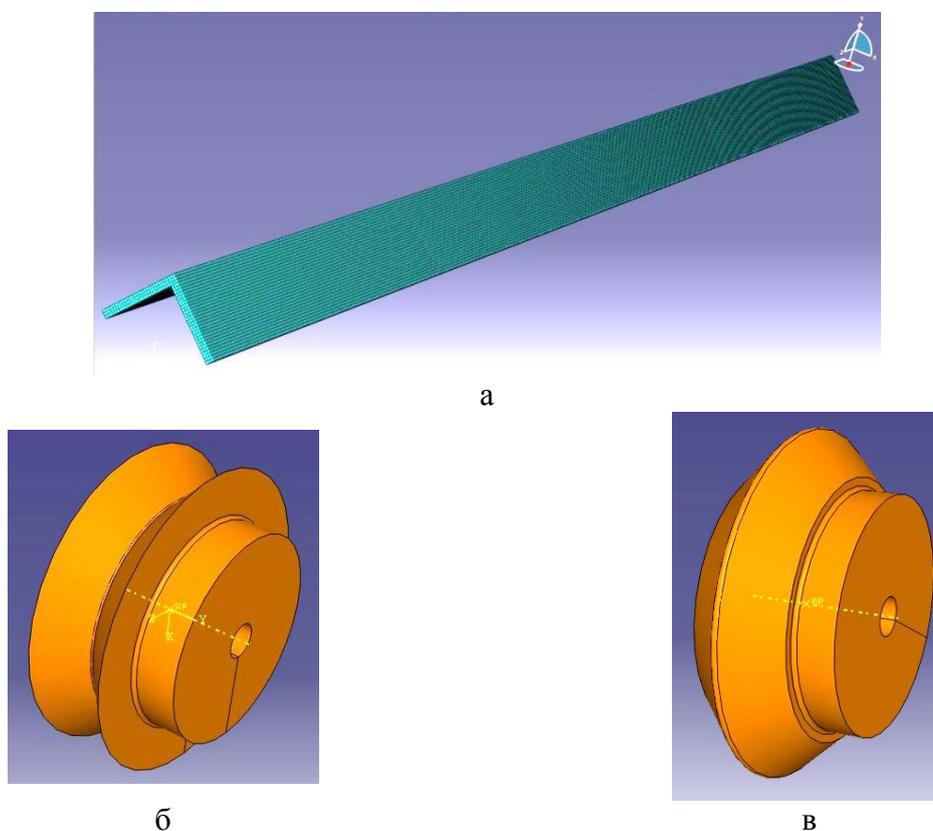


Рис. 2. Конечно-элементная модель углового профиля (а) и рабочих роликов (б, в) при моделировании процесса правки на сортоправильных машинах

Процесс моделирования правки угловых заготовок на сортоправильных машинах осуществлялся в два этапа:

- Применение граничных условий, описанных выше.
- Задание контрольным точкам верхних валков перемещения по оси « Y » глобальной системы координат, чем создавалась настройка модели для прогиба заготовки, а контрольной точке среднего нижнего валка задавалось перемещение по оси « Y » для создания прогиба заготовки. После этого все пять валков 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 перемещения, деформации и напряжения в узлах конечных элементов непрерывно-литой заготовки.

Результаты проведенного расчета, а именно распределение силы правки и распределения эквивалентных напряжений в графической форме в виде объемной деформированной модели, представлены на рис. 3.

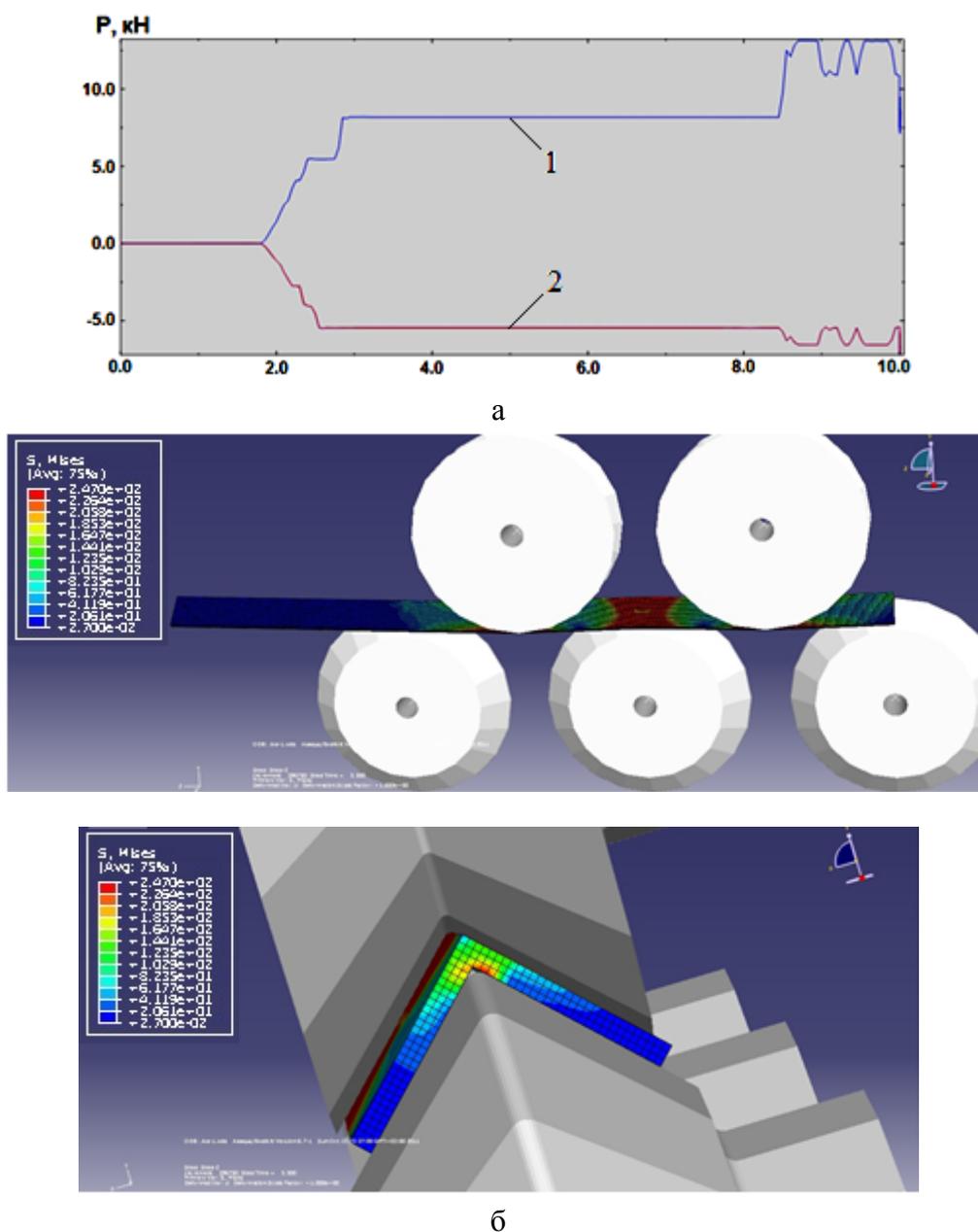


Рис. 3. Расчетные распределения силы правки (а) и эквивалентных напряжений (б) при правке угловых профилей на пятироликовых сортоправильных машинах

Проводя анализ полученных результатов, выяснилось, что максимальная сила правки действует на средний нижний валок (см. рис. 3, а, поз. 1). Это обусловлено схемой правки. Силы правки, действующие на верхние валки, составляют приблизительно 70...75 % от максимальной силы правки (см. рис. 3, а, поз. 2).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о достаточно сложном характере механизма формирования напряженного состояния металла. Расчетные распределения напряжений показали, что максимальные значения наблюдаются в районе среднего нижнего ролика, и возрастают с увеличением прогиба опорной системы.

ВЫВОДЫ

Разработанный трехмерный анализ напряженно-деформированного состояния металла при правке углового металлопроката на сортоправильных машинах методом конечных элементов составляет основу математического обеспечения комплекса программных средств, обеспечивающих решение различных задач, связанных с автоматизированным расчетом и проектированием технологий и оборудования процессов правки угловой стали во всем диапазоне их возможных условий реализации.

Полученные результаты свидетельствуют о достаточно сложном характере напряженного состояния металла при правке угловых профилей изгибом на пятироликовых сортоправильных машинах, что подтверждает необходимость создания адекватных расчетных моделей, строгого учета граничных условий, а также использование метода конечных элементов. Таким образом, все это позволит разработать рекомендации по совершенствованию технологий и оборудования процессов правки угловых заготовок во всем диапазоне их возможных условий реализации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Слоним А. З. *Машины для правки листового и сортового материала* / А. З. Слоним, А. Л. Сонин. – М. : Машиностроение, 1975. – 208 с.
2. Мошинин Е. Н. *Гибочные и правильные машины* / Е. Н. Мошинин. – М. : МАШГИЗ, 1956. – 252 с.
3. *Сортовые профили проката : справочник* / В. В. Лемпицкий, И. П. Шулаев, И. С. Тришевский, Н. М. Воронцов [и др.]. – М. : Металлургия, 1981. – 624 с.
4. Манилык Т. *Практически е рекомендации програмного комплекса ABAQUS в инженерных задачах. Версия 6.6.* / Т. Манилык, К. Ильин. – М. : МФТИ, Тесис, 2006. – 68 с.
5. *Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла на участке правильно-тянущих установок непрерывного литья* / В. А. Федоринов, О. А. Гаврильченко, А. В. Завгородний, А. С. Зеленский // *Обработка материалов давлением : сб науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2010. – № 1 (22) – С. 99–105.*
6. *Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния металла при правке длинномерного сортового металлопроката* / В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, А. В. Завгородний // *Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2011 г. – № 7.*
7. *Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния метала при правке непрерывнолитых заготовок* / В. А. Федоринов, А. В. Завгородний, С. М. Стриченко, Е. Г. Литвинова // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 2(27). – С. 58–61.*
8. *Viscouse and elastic-plastic material modem in the ABAQUS* / К. Santaoja. – Espoo, 1993. – 54 p.
9. *ANSYS в примерах и задачах / под общ. ред. Д. Г. Краковского.* – М. : КомпьютерПресс, 2002. – 224 с.

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

Завгородний А. В. – аспирант ДГМА;

Стежкин П. М. – аспирант ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 13.02.2012 г.