

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОФИЛИРОВАНИЯ ТРУБ В НЕПРИВОДНЫХ ВАЛКАХ

MATHEMATICAL SIMULATION OF THE TUBE PROFILING PROCESS IN THE IDLER ROLLS

Akopyan K., Dr. Yusupov V., Dr. Kolobov A., Vasenin A., Tyulyapin A.

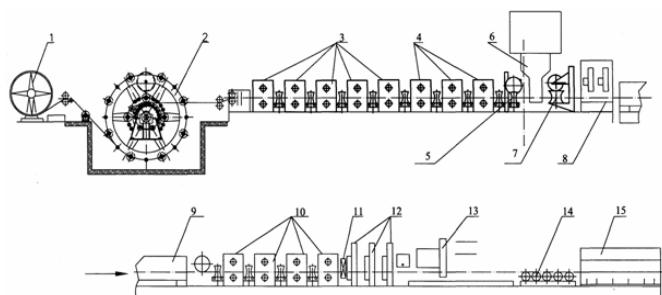
Russian Academy of Sciences A.A. Baikov Institute of Metallurgy – Moscow, RF

Abstract: A mathematical model that satisfactory describes shape-formation processes during forming rectangular tubes from a cylindrical billet by idle four-roll grooves in processing line of a tube electric welding aggregate has been designed. Technological parameters of the tube forming have been calculated using the model designed. New rolls and experimental rolling allowed us to produce profiles with a given curvature radius within $1,6 S < R < 2,4 S$.

KEYWORDS: PROFILED PIPES, RADII, MATHEMATIC MODEL

1. Введение

Одним из востребованных видов продукции черной металлургии в настоящее время являются профильные стальные трубы квадратного и прямоугольного сечения, которые получают на трубозлектросварочных агрегатах путем формовки и сварки круглой трубы с последующим профилированием в не приводных валках (турголовках) (рис.1).

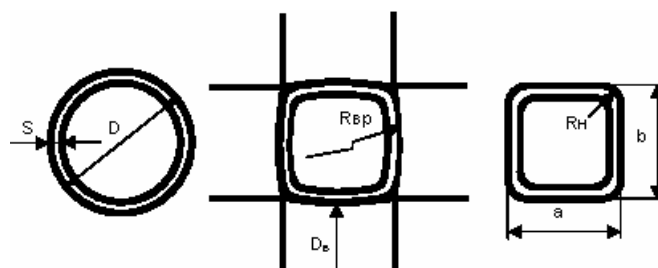


1. Разматыватель
2. Спиральный накопитель
3. Формовочные клетки с открытыми калибрами
4. Формовочные клетки с закрытыми калибрами
5. Шовонаправляющая клеть
6. Установка ВЧС
7. Сварочная клеть
8. Гратосниматель
9. Холодильник
10. Калибровочный стан
11. Дефектоскоп
12. «Турголовки»
13. Летучая пила
14. Отводящий рольганг
15. Шлеппер и карман укладчика

Рис. 1. Схема расположения оборудования трубозлектросварочного агрегата «19-50».

В зависимости от назначения к профильным трубам предъявляются различные требования по радиусам скругления в углах профиля: например, для трубчатых балок для строительных конструкций радиус должен составлять $(1,6-2,4)S$, где S - толщина стенки (ГОСТ 30245-94, EN 10219), для конструкционных труб $r = (0,8-1,2)S$.

Для управления радиусами скругления профильных труб и производства продукции в соответствии с заказами необходимо определить геометрические и технологические параметры процесса профилирования (рис.2).



- a – ширина профиля,
 b – высота профиля,
 S - толщина стенки,
 R_n - наружный радиус скругления,
 $R_{вр}$ - радиус вреза вала,
 D - диаметр трубной заготовки,
 $D_{в}$ - диаметр вала

Рис. 2. Геометрические параметры профилирования трубной заготовки.

Ранее выполненные работы [1,2] не позволяют установить однозначных зависимостей между радиусами скругления углов и технологическими параметрами. А также не решен вопрос построения калибровки, обеспечивающей исключение потери устойчивости боковых граней при профилировании.

В данной работе указанная задача решалась методом математического моделирования трехмерного формоизменения трубной заготовки. Основные факторы, влияющие на радиус скругления, определяются параметрами калибровки (глубина вреза калибра вала турголовки, радиус вреза калибра первой турголовки) и размерами круглой трубы ($S, a \times b$). Изменение данных параметров в условиях действующего ТЭСА представляется достаточно трудоемким и экономически

2. Актуальность проблемы

нецелесообразным. Поэтому влияние этих параметров изучали на модели.

3. Разработка трехмерной математической модели формоизменения металла

Математическую модель создавали на основе программного продукта QFORM-3D, основанного на совместном решении уравнений теории пластичности и реологических зависимостей свойств материала от параметров деформации методом конечных элементов. Модель не учитывает упругие деформации. В качестве исходных данных принято:

- тип оборудования;
- предварительные операции - отсутствуют;
- материал заготовки – сталь 20;
- материал инструмента – инструментальная сталь X12BMФ;

- температура заготовки - 20°C;
- температура инструмента - 20°C;
- геометрический файл (ранее сохраненный в формате SHL);

- фактор трения принимали 0,05;
- форма и размеры валкового инструмента;
- скорость движения трубной заготовки постоянная и равная 60м/мин;

- исходная заготовка имеет цилиндрическую форму с начальной накопленной деформацией равной нулю и исходной температурой 20°C.

С помощью математической модели определены технологические параметры профилирования. Профилирование осуществляется в двух турголовках, первая из которых имеет вогнутые валки, а вторая – цилиндрические.

Вид очага деформации при профилировании круглой трубы с разбиением на конечные элементы показан на рис. 3.

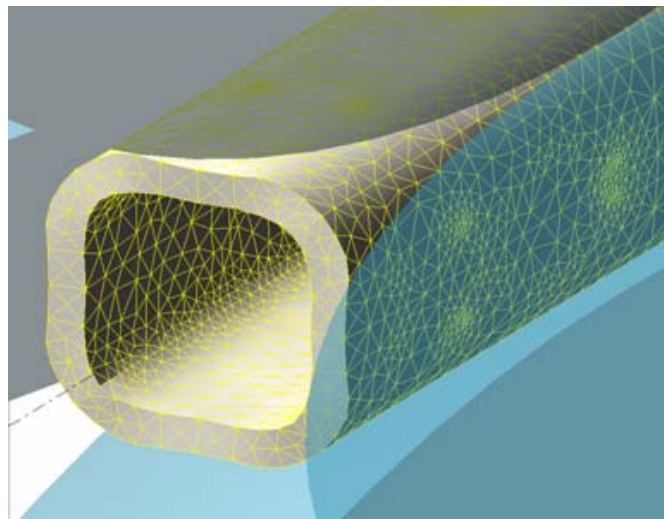


Рис. 3. Вид очага деформации при профилировании трубы.

Разбиение на конечные элементы осуществляется в автоматическом режиме.

4. Результаты расчетов и их обсуждение

В результате моделирования были получены поля скоростей деформации, накопленной деформации за один и два прохода, а также средних напряжений, возникающих в процессе профилирования профильной трубы. Задавая различные размеры исходного штрипса, диаметры цилиндрической трубы и геометрию валкового инструмента возможно определить геометрические размеры получаемого профиля в зависимости от условий трения на контакте заготовки, по которым затем

можно определить радиусы скругления готового профиля, а также выявить условия потери устойчивости полки профильной трубы в начальной стадии и на стационарном участке.

Начальные расчеты и их визуализация показали, что модель адекватно описывает процесс течения металла в неприводных четырехвалковых калибрах, фиксирует процесс потери устойчивости стенок заготовки в условиях отсутствия жестких внешних зон. Перед исследованием течения металла в зависимости от технологических параметров проводили ее уточнение на основе экспериментальных данных.

Исследование напряженно-деформированного состояния металла по периметру трубной заготовки проводили по следующей схеме. Напряженно-деформированное состояние металла при профилировании по периметру трубы характеризуется 9 компонентами тензора напряжений и 9 компонентами тензора деформаций. Для наглядного представления и возможности анализа в качестве выходных расчетных характеристик модели использовали инварианты указанных тензоров, которые в полной мере характеризуют напряженно-деформированное состояние в точке. Первый инвариант $I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3 \sigma_{\text{ср}}$ характеризует среднее гидростатическое давление. Второй инвариант $I_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1$ характеризует интенсивность напряжений. Для оценки деформированного состояния использовали накопленную деформацию, суммируемую по итогам двух проходов, которая представляет собой интенсивность деформации и включает в себя все компоненты тензора деформаций в следующем виде:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{(\varepsilon_x - \varepsilon_y)^2 + (\varepsilon_y - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_z - \varepsilon_x)^2 + 6(\varepsilon_{xy}^2 + \varepsilon_{yz}^2 + \varepsilon_{zx}^2)}$$

На рис.4 приведен пример расчета поля накопленной деформации в продольном сечении трубной заготовки при профилировании трубы.

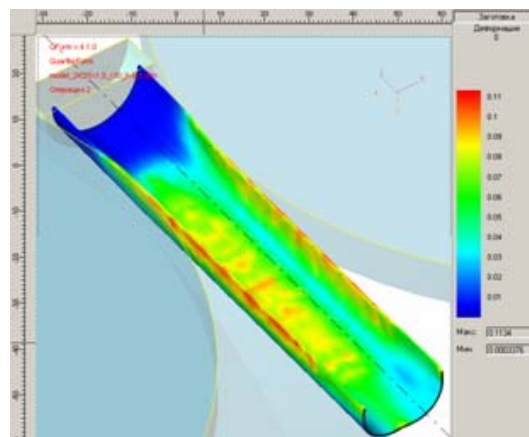


Рис. 4. Поле накопленной деформации в продольном сечении трубной заготовки при профилировании трубы Ø 24,5x1,5 мм в профиль 22x22 мм с большими радиусами.

С целью расчета калибров турголовки, как было показано ранее, необходимо определить радиус вреза первого калибра, при котором течение металла происходит без потери устойчивости и позволяет получить заданный радиус скругления в углах профиля. Для поиска оптимального варианта профилирования проводили расчеты для трубчатой балки 22x22x1,5 мм с радиусом скругления профиля: $r = (2.8 - 4.8)S$ –исходя из рисунка 5, где S – толщина стенки.

Для этого с заданным шагом t варьировали технологические параметры процесса (диаметр исходной заготовки $D_{\text{заг}}$, радиус вреза $R_{\text{вр}}$), при которых производился расчет напряженно-деформированного состояния заготовки по периметру и оценивалась устойчивость профиля.

Всего с помощью модели был произведен расчет 240 вариантов возможных сочетаний технологических параметров. Расчеты по модели позволили выявить условия деформирования, обеспечивающие сохранение устойчивости стенки и заданный радиус кривизны в углах получаемой заготовки, а также определить влияние на него технологических параметров (рис. 5).

6. Литература

1. Производство профильных труб // Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Москва «Интермет инжиниринг», 2003.

2. Продольная прокатка труб в многовалковых калибрах // Блинов Ю.И. Челябинск «МЕТАЛЛ», 1992.

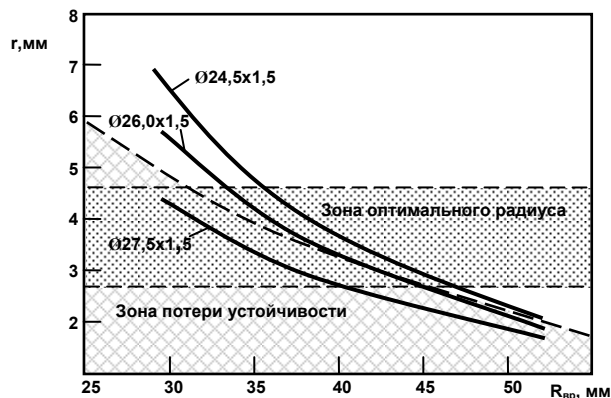


Рис. 5. Зависимость радиуса скругления от глубины вреза в первом калибре для различной исходной заготовки, определенная по модели.

Основной режим деформации заготовки в турголовках определяется выбором радиуса врезки в первом калибре турголовок, который, исходя из результатов моделирования и опытных данных, рекомендуется устанавливать в диапазоне $R_{вп} = (1,15 - 1,17) a$ (b) для получения радиуса скругления 1,6 $S < R < 2,4 S$. Исходя из заданного радиуса скругления профиля предложена методика расчета и графического построения калибров турголовок. Изготовлены валки и проведены опытные прокатки, которые позволили получить прямоугольные профильные трубы с заданным радиусом скругления (рис. 6).

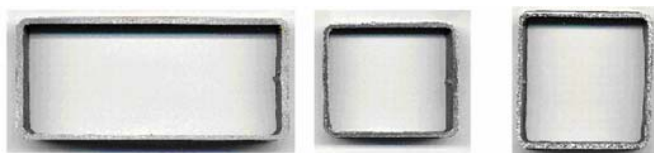


Рис. 6. Поперечное сечение профильных труб.

5. Выводы

1. Разработана математическая модель, описывающая формоизменение цилиндрической заготовки при профилировании прямоугольных труб в неприводных четырехвалковых калибрах в линии трубозлектросварочного агрегата.

2. С помощью математической модели определены геометрические параметры профилирования. Профилирование прямоугольных труб осуществляется в двух турголовках, первая из которых имеет вогнутые валки, а вторая – цилиндрические.

3. Изготовлены валки и проведены опытные прокатки, которые позволили получить прямоугольные профильные трубы с заданным радиусом скругления.