

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ТРУБ

Е.В. Храмов, Б.В. Баричко, А.С. Кочкин

Определены основные факторы, влияющие на качество горячекатаных труб, а именно точность геометрических размеров проката. Выделены два основных параметра, влияющих на продольную кривизну труб. Проведена численная оценка влияния разницы диаметров бочки валков двухвалковой клетки и смещения одного валка вдоль оси прокатки на кривизну труб. Для этого проведено моделирование процесса прокатки труб в одной двухвалковой клетки с калибровкой валков, соответствующей калибровке предпоследней клетки извлекательно-калибровочного стана. Моделирование производилось с различной величиной диаметра бочки одного валка и различной величиной смещения одного валка вдоль оси прокатки. Анализ геометрии модели трубы после прокатки показал ощутимое влияние на ее кривизну данных факторов. Произведена обработка результатов моделирования, и обработка данных позволила получить зависимости отклонения от прямолинейности труб от разницы между диаметрами бочек валков. Также получена зависимость отклонения от прямолинейности труб от величины смещения одного валка вдоль оси прокатки. Полученные в результате данной работы формулы и зависимости могут быть использованы в дальнейшем при настройке трубопрокатного стана, что позволит в значительной степени повысить качество выпускаемой продукции. Особенностью данной работы по определению влияния различных факторов на кривизну трубы при ее деформации заключается в том, что оценка влияния проводилась при помощи моделирования с применением метода конечных элементов. Проведенное исследование не является полным и в дальнейшем будет дополнено результатами оценки влияния отклонения трубы от прямолинейности на условия захвата трубы валками последующей клетки извлекательно-калибровочного стана.

Ключевые слова: кривизна труб, моделирование, извлекательно-калибровочный стан, редуцирование.

В нефтедобывающей промышленности предъявляются высокие требования к качеству труб, в частности к точности их геометрических характеристик. Форма поперечного сечения круглой трубы определяется овальностью и разностенностью; в продольном направлении – кривизной. Высокие требования к точности труб обусловлены себестоимостью, надежностью, работоспособностью и обеспечением возможности нарезки резьбы премиального класса.

Точность изготовления и настройка рабочих валков оказывают существенное влияние на качество получаемого профиля. Это влияние сказывается разными способами. Так, в работе [1] рассмотрены различные факторы, оказывающие влияние на точность геометрических размеров проката:

- точность расточки валков;
- шероховатость поверхности валков;
- материал прокатных валков и твердость их поверхности;
- степень износа валков;
- радиальное биение валков;
- выбор системы калибров и др.

В работе [2] факторы, влияющие на точность труб, разделяют на три группы: технологические факторы; факторы, связанные с особенностями способа производства; факторы, связанные с возможностями оборудования и качеством его настройки.

К важным факторам, влияющим на кривизну труб, можно отнести правильность геометриче-

ских размеров валков и правильность расположения валков относительно оси прокатки. В условиях производства возможны случаи прокатки труб при различных диаметрах бочки валков, например, в результате переточки валков. При этом будет наблюдаться различие в геометрии очага деформации и в линейных скоростях симметричных относительно оси прокатки валков, что приведет к искривлению трубы. Под воздействием осевых усилий прокатки рабочие валки могут перемещаться вместе с подушками в направлении оси прокатки на расстояния зазоров между подушками и станиной клетки, что также приведет к искривлению трубы.

В настоящее время численно оценить влияние данных факторов на кривизну труб не представляется возможным, так как в ходе прокатки затруднительно исключить влияние других факторов. Поэтому авторами ставилась задача численной оценки влияния разницы диаметров бочки валков одного калибра и смещение валков вдоль оси прокатки на кривизну труб.

Поставленная задача решалась с использованием программного комплекса QForm-3D, предназначенного для конечно-элементного моделирования процессов обработки металлов давлением. Рассматривался процесс прокатки труб $\varnothing 304,5 \times 8$ мм на ТПА 159-426, а именно в предпоследней клетки извлекательно-калибровочного стана (ИКС), где происходит редуцирование трубы без оправки.

Моделирование процесса деформации осуществлялось для случая прокатки в двухвалковой клетки, калибровка валков которой представлена на рис. 1.

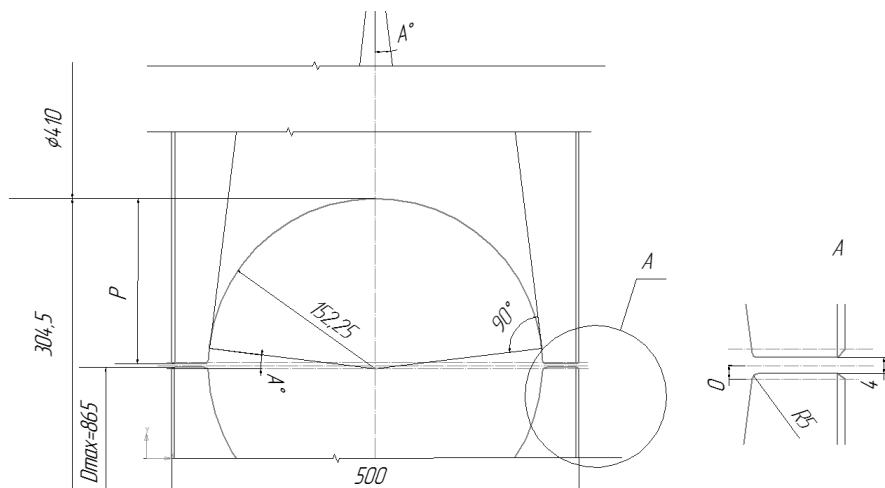


Рис. 1. Калибровка валков последней клетки ИКС

В модели использованы следующие исходные данные: материал заготовки – углеродистая сталь, температура трубы – $+900\text{ }^\circ\text{C}$, размеры заготовки – $\text{Ø}310,5 \times 8 \times 2000\text{ мм}$, температура инструмента – $+200\text{ }^\circ\text{C}$, частота вращения валков – 50 об/мин, диаметр бочки верхнего валка – 715 мм, диаметр бочки нижнего валка для каждой модели задан соответственно – 715, 715,5, 716, 717 и 718 мм. Полученная модель представлена на рис. 2.

Кривизну труб на выходе из клетки оценивали по координатам трассировочной линии, нанесенной на наружную поверхность заготовки в соответствии с рис. 3.

По замеренным координатам трассировочной линии строилась аппроксимирующая квадратичная функция вида: $y = A \cdot L^2 + B \cdot L + C$, где L – расстояние от очага деформации до точки на трубе; A , B и C – коэффициенты аппроксимации, причем коэффициент A равен тангенсу угла наклона ка-

сательной к аппроксимирующей функции в заданной точке. Затем графическим способом определялся радиус кривизны трубы на выходе из очага деформации и отклонение от прямолинейности трубы. Аналогично произведено моделирование и обработаны результаты для случая одинаковых диаметров бочек валков, но при смещении нижнего валка в направлении оси прокатки на 0,5; 1; 1,5; 2 и 5 мм соответственно для каждой модели. Результаты моделирования представлены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, отклонение от прямолинейности труб прямо пропорционально разнице диаметров рабочих валков и смещению валка вдоль оси прокатки.

На рис. 4 представлены графики аппроксимирующих функций соответствующих 12-метровым трубам.

На рис. 5 приведены графики зависимости отклонения от прямолинейности труб от величины

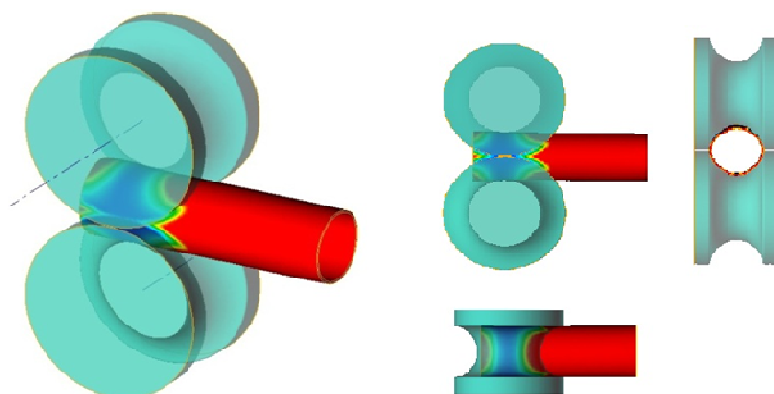


Рис. 2. Геометрическая модель процесса прокатки трубы на ИКС в программном комплексе QForm-3D

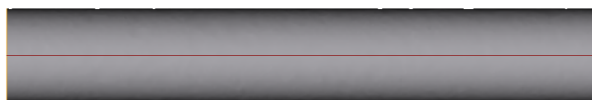


Рис. 3. Заготовка с нанесенной трассировочной линией

Обработка результатов моделирования

Разница диаметров рабочих валков, мм	$A, 10^{-7}$	Радиус кривизны наружной поверхности труб, м	Отклонение от прямолинейности, мм/м	Смещение валка вдоль оси прокатки, мм	$A, 10^{-7}$	Радиус кривизны наружной поверхности труб, м	Отклонение от прямолинейности, мм/м
0	–	–	–	0,5	1	4948,24	0,10
0,5	7	1988,789	0,25	1	4	1250,54	0,40
1	7	711,112	0,70	1,5	5	994,39	0,50
2	9	555,486	0,90	2	8	621,47	0,80
3	9	291,993	1,71	5	10	499,82	1,00

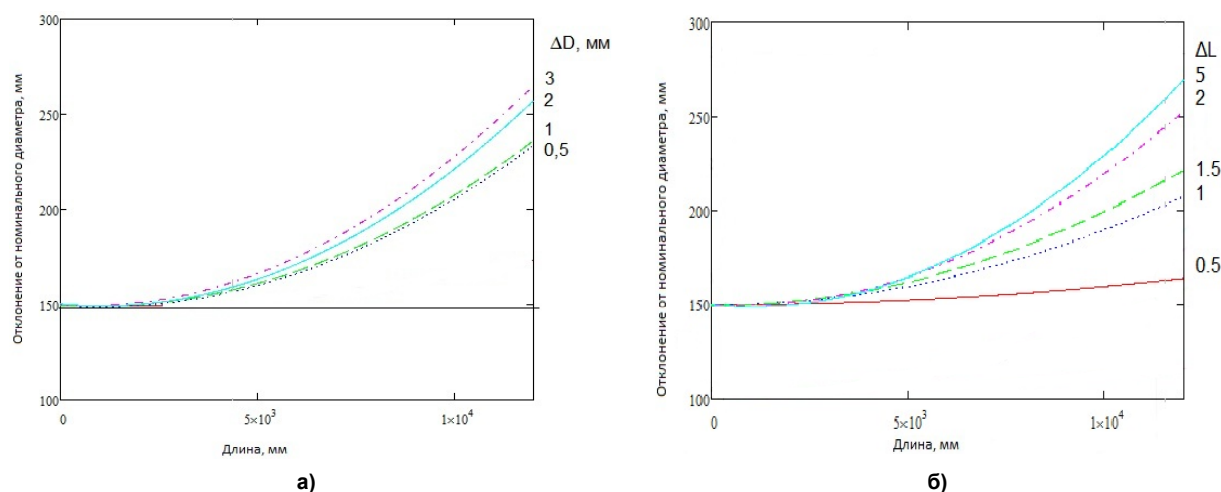


Рис. 4. Аппроксимирующие функции: а – при различных диаметрах бочек валков; б – при смещении валка вдоль оси прокатки

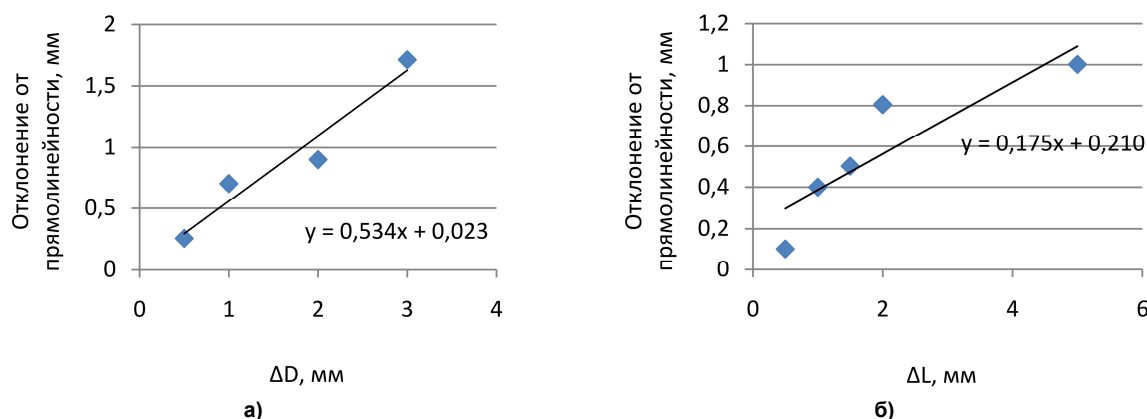


Рис. 5. Графики зависимости отклонения от прямолинейности труб от величины: а – разности диаметров бочки валков; б – смещения валка вдоль оси прокатки

смещения валка вдоль оси прокатки и разности диаметров бочки валков.

Однако при совместном влиянии разницы диаметров рабочих валков и смещения валков относительно друг друга вдоль оси стана отклонение от прямолинейности может возрасти и выйти за пре-

дельно допустимые. Для оценки совместного влияния данных факторов произведено моделирование процесса прокатки со смещением нижнего валка вдоль оси прокатки на 1,5 мм и изменяющимся диаметром бочки валка в соответствии с табл. 1. Результаты моделирования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Обработка результатов моделирования при совместном действии факторов

Разница диаметров рабочих валков, мм	Смещение вала вдоль оси прокатки, мм	$A, 10^{-7}$	Радиус кривизны наружной поверхности труб, м	Отклонение от прямолинейности, мм/м
0,5	1,5	8	901	1,1
1	1,5	10	621	1,61
2	1,5	10	381	2,62
3	1,5	30	286	3,49

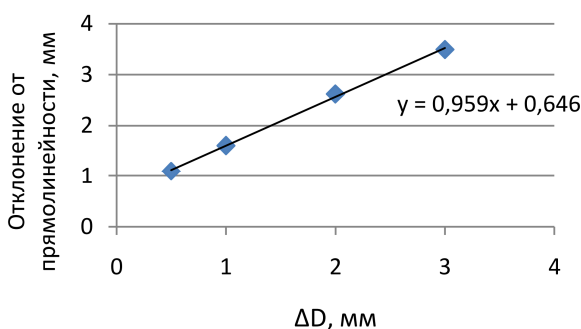


Рис. 6. График зависимости отклонения от прямолинейности труб от разности диаметров бочки валков при смещении одного вала вдоль оси прокатки на 1,5 мм

На рис. 6 приведен график зависимости отклонения от прямолинейности труб от разности диаметров бочки валков при смещении одного вала вдоль оси прокатки на 1,5 мм.

Особенность данной работы по определению влияния различных факторов на кривизну трубы при ее деформации в линии ТПА 159-426 заключается в том, что оценка влияния проводилась при помощи моделирования с применением метода конечных элементов.

Полученные в результате данной работы формулы и зависимости могут быть использованы в дальнейшем при настройке трубопрокатного стана, что позволит в значительной степени повысить качество выпускаемой продукции.

Проведенное исследование не является полным и в дальнейшем будет дополнено результатами оценки влияния отклонения трубы от прямолинейности на условия захвата трубы валками последующей клетки извлекательно-калибровочного стана.

Литература

1. Трофимчук, В.Д. Точность при прокатке и факторы, ее обуславливающие / В.Д. Трофимчук. – Харьков: Металлургиздат, 1960. – 132 с.
2. Столетний, М.Ф. Точность труб / М.Ф. Столетний, Е.Д. Клемперт. – М.: Металлургия, 1975. – 239 с.

Храмков Евгений Владимирович, аспирант кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); hevva@mail.ru.

Баричко Борис Владимирович, канд. техн. наук, доцент, заместитель начальника отдела, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (г. Челябинск); barichko@rosniti.ru.

Кочкин Александр Сергеевич, студент кафедры машин и технологий обработки материалов давлением, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); kochkin@rosniti.ru.

Поступила в редакцию 10 апреля 2014 г.

ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE QUALITY OF HOT-ROLLED PIPES

E.V. Khramkov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, hev@mail.ru,

B.V. Barichko, The Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries, Chelyabinsk, Russian Federation, barichko@rosniti.ru,

A.S. Kochkin, The Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries, Chelyabinsk, Russian Federation, kochkin@rosniti.ru

The article considers major factors affecting the quality of hot rolled pipes, namely, the accuracy of geometric dimensions of pipes. Two main parameters affecting the longitudinal curvature of pipes are distinguished. Numerical estimations of the influence of diameter differences of a roll barrel-roll mill and the displacement of one roll along the axis of the rolling pipe curvature were carried out. For this purpose simulation of pipe rolling in one two-roll mill with the roll calibration corresponding to the calibration of the previous extractor mill was carried out. Simulation was carried out with different diameter sizes of the barrel of one roll and different displacement values of one roll along the rolling axis. These factors had a significant influence on the curvature which was shown by the analysis of the model tube geometry after rolling. Processing of the simulation results and data allowed to receive deviation dependences on the pipe linearity and the difference between roll barrels diameters. In addition, the deviation dependence on the displacement between straight pipes and one roll along the rolling axis was determined. Formulas and dependences received in this study can be further used in setting up a pipe mill and will greatly improve the production quality. A peculiar feature of this research in determining the influence of various factors on pipe curvature at its deformation is that the impact assessment was carried out by means of simulation using the finite element method. The research is not complete and will be further supplemented by the assessment results of the deviation impact from linearity on account of the condition of the pipe grip by the next pipe rolls of the stand extractor mill.

Keywords: phase diagrams, phase equilibria, lanthanum oxide, thermodynamics.

References

1. Trofimchuk V.D. *Tochnost' pri prokatke i faktory, ee obuslavlivayushchie* [Accuracy in Rolling and Factors That Determine It]. Kharkov, Metallurgizdat Publ., 1960. 132 p.
2. Stoletniy M.F., Klempert E.D. *Tochnost' trub* [Accuracy of Pipes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 239 p.

Received 10 April 2014