

Моделирование влияния отклонений диаметра заготовки на точность размеров при изготовлении профильных труб с целью совершенствования процесса

Р.А. Окулов^{1,2}, Н.В. Семенова¹

¹ *Уральский федеральный государственный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», Екатеринбург*

² *Институт металлургии Уральского отделения РАН, Екатеринбург*

Аннотация: Рассмотрены вопросы повышения качества производимой продукции за счет прогнозирования получаемых геометрических характеристик формы профилируемых труб и их точности. Создана объективная компьютерная модель адекватно описывающая реальный процесс. Вычислительный эксперимент выполнен при помощи программных пакетов, позволяющих реализовать метод конечных элементов ANSYS и DEFORM. Установлены зависимости исследуемых параметров формы от наружного диаметра заготовки. Представленные зависимости и предложенные рекомендации по ведению процесса имеют практическую пользу и полезны разработчикам и потребителям технологического оборудования для прогнозирования результатов профилирования.

Ключевые слова: профилирование труб, метод конечных элементов, деформация, напряжение, математическая модель, точность, качество

Профильные трубы нашли широкое применение в различных отраслях экономики. Профильным трубам присуще большое многообразие конфигураций форм поперечного сечения и растут область их применения и потребность в изготовлении новых форм. Этим обусловлена актуальность исследования темы формообразования профильных труб повышенной точностью и совершенствования машин для их производства. Профильные трубы производят волочением, которое позволяет изготовить изделия с повышенной точностью размеров и высоким качеством поверхности [1].

Поскольку характеризующих форму размеров у профильных труб больше, чем у круглых, то установление зависимости формы готовой трубы от воздействующих факторов в процессе формообразования является актуальным вопросом для разработчиков и потребителей технологического оборудования. В свою очередь, точность размеров профильных труб зависит

от значительного числа воздействующих факторов, каждый из которых может варьироваться от партии к партии. Например, в ГОСТ 32528-2013 представлены предельные отклонения по наружному диаметру труб не превышающем диаметр 50 мм, которые имеют разброс в диапазоне $\pm 0,5$ мм. В производственной практике применение труб в качестве заготовки и изготовленных в соответствии с вышеуказанным ГОСТом, могут привести к значительным искажениям формы обработанных труб. При этом отклонения фактического значения наружного диаметра от номинального могут изменяться как вдоль, так и по периметру трубы.

Целью данной работы является создание рекомендаций по совершенствованию процессов и машин применяемых при профилирование граненных труб для прогнозирования результатов обработки на стадии проектирования технологии процесса и выбора параметров заготовки с учетом отклонений диаметра заготовки.

Для решения поставленной задачи применили метод конечных элементов. Для реализации выбранного метода применили программные пакеты ANSYS и DEFORM [2–4]. Расчет проведен в двух программных пакетах, поскольку требовалось проведение дополнительной верификации математического эксперимента и оценки объективности примененной компьютерной модели.

При создании компьютерной модели очага деформации выполнены следующие этапы [5-7]:

- создание 3D-модели деталей, входящих в состав очага деформации;
- определение граничных условий и физико- механических свойств материалов;
- приложения действующих нагрузок, задание движения и степеней свободы;

- выбор параметров численного метода реализуемого программным пакетом.

В рамках работы исследовался процесс формообразования квадратных граненых труб. Среди рассмотренных геометрических параметров изучены H – толщина стенки в центре грани, мм; L – наружный прогиб граней, мм; R – радиус сопряжения граней по наружной поверхности трубы, мм; r – радиус сопряжения граней по внутренней поверхности трубы, мм; μ – вытяжка, рассчитывается по формуле

$$\mu = \frac{S_0}{S_a}, \quad (1)$$

где S_0 – площадь поперечного сечения заготовки до обработки, мм²;

S_a – площадь поперечного сечения после обработки, мм².

На рис.1 представлена схема профилирования трубы с исследуемыми геометрическими параметрами формы поперечного сечения профелируемой трубы.

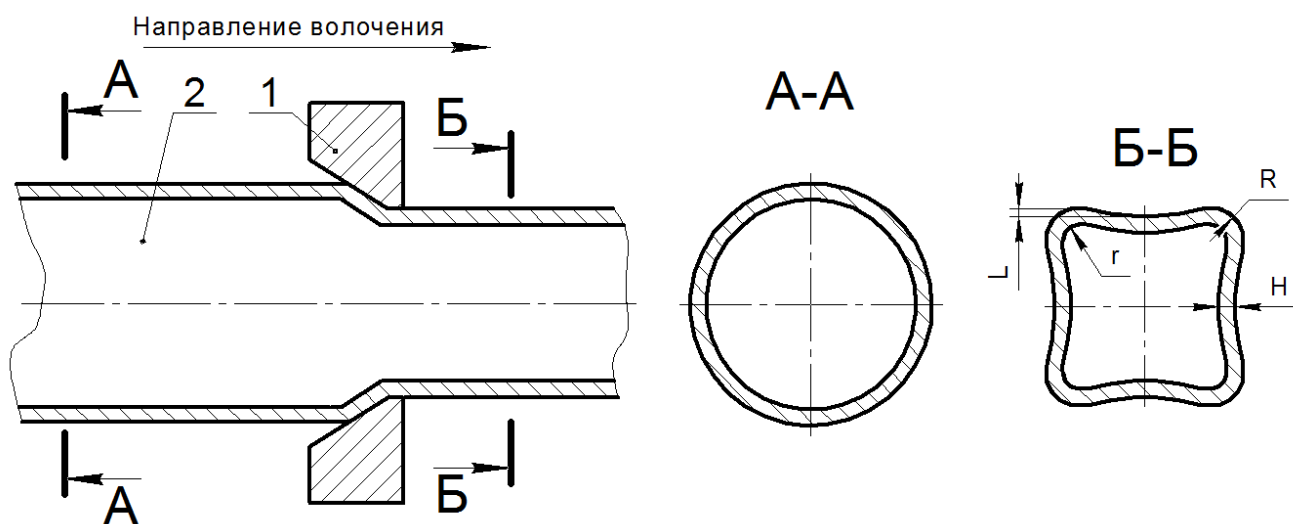


Рис. 1 – Схема процесса профилирования трубы и исследуемые параметрами формы поперечного сечения профелируемой трубы: 1 – обрабатываемая труба; 1 – волока (рабочий инструмент); 2 – обрабатываемая труба; L –

прогиб стенки в центре грани; R и r – радиусы сопряжения граней по наружной и внутренней поверхностям; H – толщина стенки трубы в центре грани.

В работе представлены результаты компьютерного исследования путем моделирования процесса профилирования бесшовных холоднодеформированных труб из заготовки круглого сечения в трубу квадратную квадратного сечения при помощи безоправочного волочения в один переход. Материал трубы Сталь 20 ГОСТ 1050. Наружный диаметр труб используемых в качестве заготовки выбран в соответствии с производственной практикой, исходя из стандартного ряда, представленного в ГОСТ 32678 и соответствовал значениям 5, 10, 15, 20, 30, 40 и 50 мм при толщине станки для каждого из случаев равной 2 мм. В качестве рабочего инструмента применена волока с обжимным участком, в виде усеченной пирамиды с плоскими гранями. Размер калибрующего участка волоки изменялся соответственно принятому диаметру. Угол наклона рабочей поверхности волоки принят равным 10^0 , коэффициент трения по Амонтону-Кулону принят равным 0,1 [8].

На точность результатов проводимых математических расчетов оказывает размер элемента разбиения сетки. При этом чем меньше размер элемента разбиения тем большее количество времени требуется на проведения расчетов. Выбрали размер элементов разбивки исходя из условия чтобы в самом узком тесте входило минимум четыре элемента для того чтобы учитывать поверхностные, подповерхностные и срединные изменения деформации металла [9,10]. Прибегали к использованию разбиения исследуемой зоны детали с большей плотностью тех случаях, когда требуется получить более точные результаты.

Для повышения точности результатов математического эксперимента путем снижения статистической погрешности провели пять параллельных экспериментов для каждого из рассматриваемых случаев. На рис.2 представлены усредненные результаты математического эксперимента.

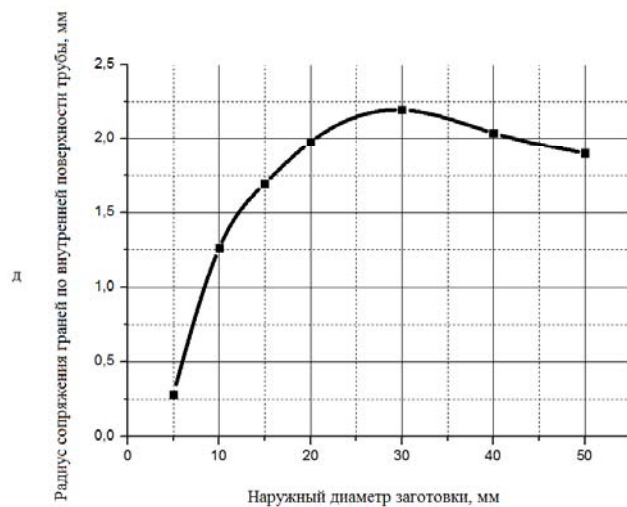
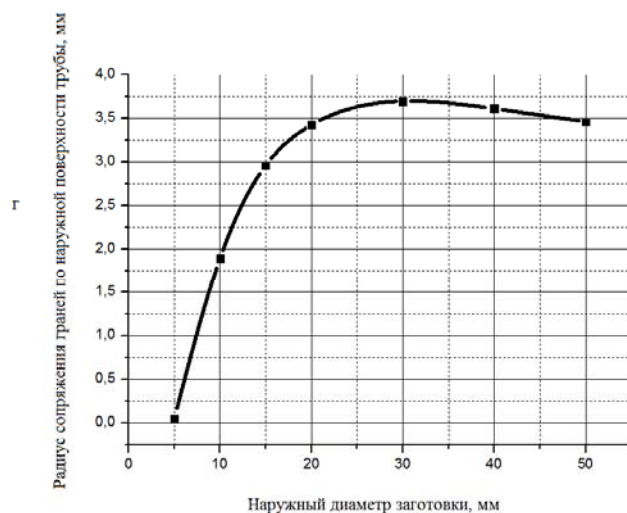
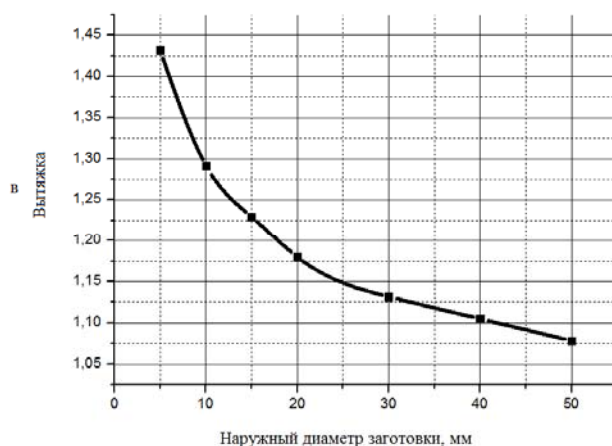
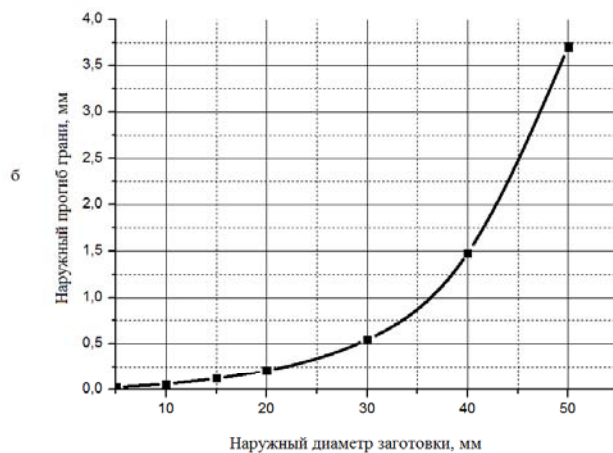
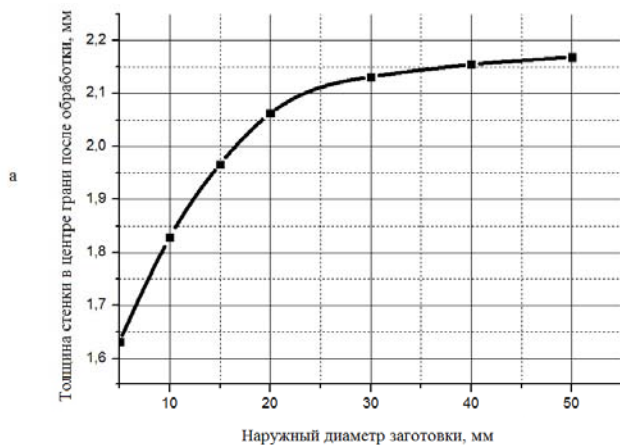


Рис. 2 – Графики зависимости геометрических параметров изделия от наружного диаметра заготовки

а – зависимость толщины стенки обработанной трубы от диаметра заготовки;

б – зависимость прогиба в центре грани обработанной трубы от диаметра заготовки; в – зависимость вытяжки от диаметра заготовки; г – зависимость радиуса сопряжения граней по наружной поверхности обработанной трубы от диаметра заготовки; д – зависимость радиуса сопряжения граней по наружной поверхности обработанной трубы от диаметра заготовки.

На рис.2 а, продемонстрировано, что влияние отклонений у труб с меньшим значением наружного диаметра существенней, чем при обработке труб с большим значением наружного диаметра. В свою очередь, при значении наружного диаметра заготовки равного 17 мм, значение толщина стенки трубы до обработки равна толщине в центре грани после профилирования. При значениях диаметра меньших 17 мм, толщина стенки в центре грани после обработки становится меньше толщины стенки заготовки, и напротив – при значениях диаметра заготовки превышающих значения 17 мм толщина стенки в центре грани после обработки увеличивается. На рис.2 б продемонстрировано, что с увеличением значения наружного диаметра трубы прогиб трубы в центре грани L растет. Это обусловлено меньшей устойчивостью тонкостенных труб. Значение вытяжки μ с увеличением диаметра заготовки (рис.2 в) снижается. На представленных зависимостях радиуса сопряжения граней по наружной R (рис.2 г) и внутренней r (рис.2 д) поверхностям обработанной трубы от диаметра заготовки, можно наблюдать, что кривые, описывающие зависимости имеют экстремумы и имеют наименьшие значения при минимальных значениях диаметров заготовки.

В результате проведенного вычислительного исследования для разработчиков и потребителей технологического оборудования

применяемого при производстве граненых труб сформулированы рекомендации по ведению процесса. Поскольку отклонение размеров наружного диаметра заготовки при профилировании у труб малого диаметра, а также тонкостенных оказывает наибольшее влияние на точность получаемой продукции, то рекомендуется перед подготовкой в запуск трубных заготовок выполнить предварительную сортировку с целью минимизации разбросов значений отклонений размеров готовой продукции.

Представленные в работе зависимости полезны для прогнозирования результатов обработки на стадии проектирования технологии процесса и выбора параметров заготовки с учетом влияния отклонений диаметра заготовки с целью производства продукции заданной геометрии и требуемого качества.

Литература

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2001. – 836 с.
2. Паршин С.В. Совершенствование процессов и машин для изготовления холоднопрофилированных труб на основе моделирования очага деформации: дис. ... д-ра тех. наук: 05.03.05 - Технологии и машины обработки давлением) / Паршин Сергей Владимирович. – Екатеринбург, 2009. – 367 с.
3. Zienkiewicz O. Finite Element Method: fifth edition / O. Zienkiewicz, R. Taylor. – Butterworth and Heinemann, 2000. – V. 1-3.
4. Fleissner F., Gaugele T., Eberhard P. Applications of the discrete element method in mechanical engineering // Multibody System Dynamics.— 2007.— Vol. 18.— pp. 81–94.
5. Богатов А.А. Механические свойства и модели разрушения металлов. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2002. – 329 с.



6. Паршин С.В., Семенова Н.В. Напряженно-деформированное состояние и поврежденность металла при волочении профильных труб // Журнал «Производство проката» № 5, 2017, с. 21-24.
7. Осипов А.А., Семенова Н.В. Напряженно-деформированное состояние при профилировании роликами труб при неполном охвате периметра // Инженерный вестник Дона, № 1, 2017.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4062
8. Царьков А.В., Пащенко В.В., Зиновьева О.И. Исследование влияния концентраторов напряжений на НДС в плоских образцах труб под давлением // Инженерный вестник Дона, № 4, 2014.
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2675
9. Федулов А.А. Моделирование очага деформации с целью разработки процесса и определения параметров прокатки плоских ребристых заготовок: дис... канд. тех. наук (05.02.09 - Технологии и машины обработки давлением) / Федулов Артем Анатольевич. – Екатеринбург, 2013. – 153 с.
10. Литвинов С.В., Труш Л.И., Дудник А.Е. Моделирование термоползучести неоднородного толстостенного цилиндра в осесимметричной постановке // Инженерный вестник Дона, № 2, 2016.
URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_14_litvinov_trush.pdf_50f2071864.pdf

References

1. Kolmogorov V.L. Mehanika obrabotki metallov davleniem. [Mechanics of metal forming]. Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2001. 836 p.
2. Parshin S.V. Sovershenstvovaniye protsessov i mashin dlya izgotovleniya kholodnoprofilirovannykh trub na osnove modelirovaniya ochaga deformatsii [Improvement of processes and machines for the manufacture of cold-formed pipes based on the simulation of the deformation zone]: dis. ...



- d-ra tekhn. nauk: 05.03.05 (Tekhnologii i mashiny obrabotki davleniyem). Parshin Sergey Vladimirovich. Ekaterinburg, 2009. 367 p.
3. Zienkiewicz O., Taylor R. Butterworth and Heinemann, 2000. V. 1-3.
 4. Fleissner F., Gaugele T., Eberhard P. Multibody System Dynamics, 2007. pp. 81–94.
 5. Bogatov A.A. Mehanicheskie svojstva i modeli razrusheniya metallov [Mechanical properties and models of metal fracture]. Ekaterinburg: GOU VPO UGTU-UPI, 2003. 329 p.
 6. Parshin S.V., Semenova N.V. ZHurnal «Proizvodstvo prokata» № 5, 2017, pp. 21-24.
 7. Osipov A.A., Semenova N.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), № 1, 2017. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/4062
 8. Tsarkov A. V., Pashchenko V. V., Zinovieva O. I. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), № 4, 2014. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2675
 9. Fedulov A.A. Modelirovaniye ochaga deformatsii s tsel'yu razrabotki protsessa i opredeleniya parametrov prokatki ploskikh rebristykh zagotovok [Simulation of the deformation zone in order to develop the process and determine the parameters of rolling flat ribbed blanks]: dis. .. kand. tekhn. nauk (05.02.09 - Tekhnologii i mashiny obrabotki davleniyem). Fedulov Artem Anatol'yevich. Ekaterinburg, 2013. 153 p.
 10. Litvinov S.V., Trush L.I., Dudnik A.E. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), № 2, 2016. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_14_litvinov_trush.pdf_50f2071864.pdf