

## Конечно-элементная модель процесса обкатки капиллярных труб роликами

*С.В. Паршин, П.С. Хлебников, А.А. Федулов, Н.В. Семенова*

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
Екатеринбург*

**Аннотация:** Рассмотрено построение и дано обоснование конечно-элементной модели процесса обкатки капиллярной трубы, которую получили волочением на неподвижной оправке. Обкатные валки приняты цилиндрическими и абсолютно жесткими. Условием выполнения работы принято сравнение получаемого зазора между трубой и оправкой и образующейся при деформации граненности. Твердотельная модель процесса описана адаптивной сеткой. В этих условиях получена информативная модель, использованная при параметрическом анализе.

**Ключевые слова:** волочение с оправкой, капиллярная труба, извлечение, раскатка, построение модели, выбор обжатия, допуск на размеры трубы

Во многих отраслях промышленности находят применение капиллярные трубы по ГОСТ 14162-79, имеющие наружный диаметр до 5 мм при соотношении к толщине стенки не более 5-10. Наиболее высокопроизводительным способом и при возможности получения продукции высокого качества является процесс длиннооправочного холодного волочения [1]. После окончания волочения требуется извлечение оправки из трубы. Указанные выше соотношения размеров приводят к необходимости обкатки трубы в цилиндрических роликах с целью создания радиального зазора между трубой и оправкой.

В работе рассмотрено построение МКЭ-модели этого процесса и ее функционирование в процессе расчета [2]. Отличительной особенностью задачи является то, что при малых абсолютных размерах труб допуски на эти размеры также весьма малы, причем получаемая вследствие раскатки пластическая деформация не должна выводить готовые размеры за поле допуска.

На первом этапе [3] рассмотрели построение твердотельной модели, содержащую обкатываемую трубу с оправки и раскатные ролики (рис.1).

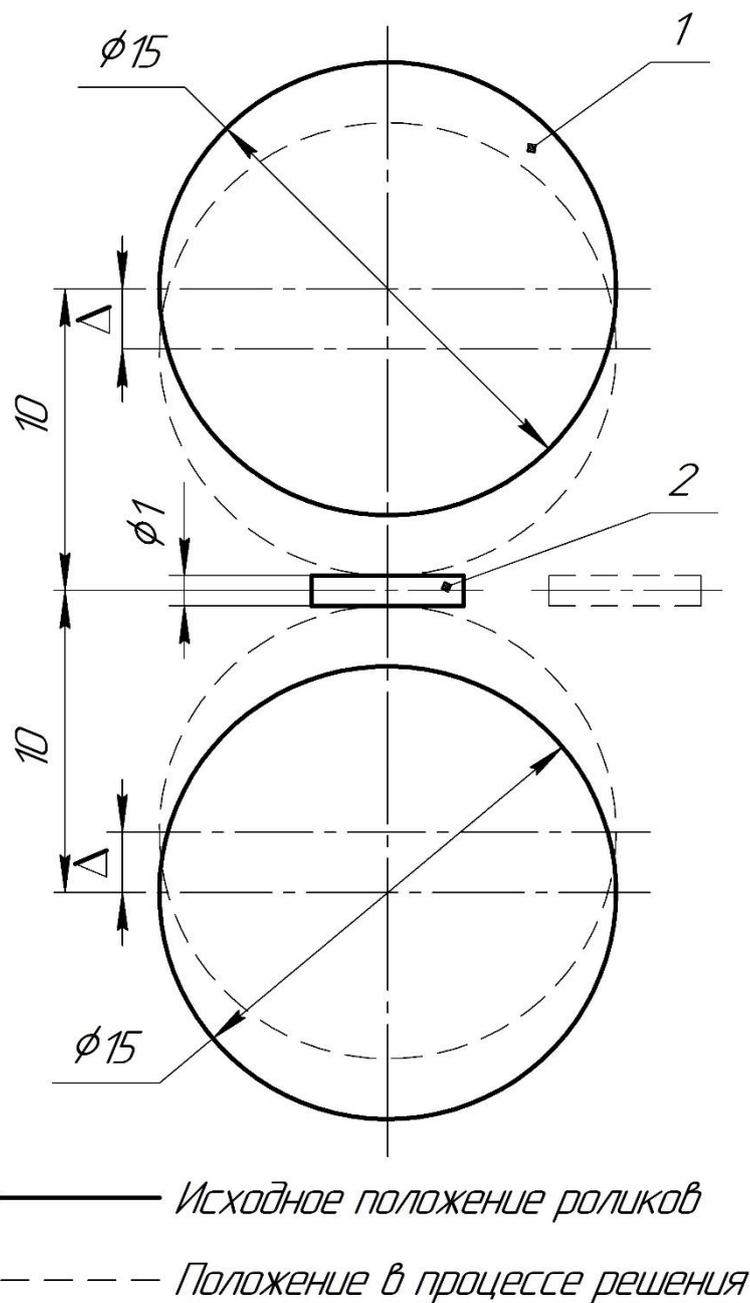


Рис. 1 – Геометрическая модель процесса, где  
1 – ролики; 2 – труба

При моделировании приняты следующие допущения:

1. Верхний и нижний ролики, а также оправка – абсолютно жесткие объекты ввиду их незначительных деформаций в реальных условиях.
2. Материал заготовки принимается упруго-пластичным, так как значения пластической и упругой деформаций сопоставимы при данных величинах обжатия.
3. Обкатка в обкатных кассетах осуществляется без нагрева заготовки. Таким образом при решении не будет учитываться теплообмен между объектами схемы и окружающей средой.
4. Для рассматриваемой в примере стали (12X18H10T) следует принять вследствие малой деформации линейную зависимость деформация – напряжение [4].

Использован метод конечно-элементного моделирования с учетом его особенностей [5, 6]. Приняты разбиение рассматриваемых объектов прямолинейными элементами [7] трехмерного моделирования. Ответным путем установлено, что сетка конечных элементов не должна превышать 150 000 элементов. Такое число элементов позволяет произвести расчет за приемлемый промежуток машинного времени, при этом обеспечивается высокая точность.

#### **Решения задачи.**

Сборка объектов моделирования производится в сфере графического пакета Компас [8, 9]. Моделирование учитывало то обстоятельство, что имеют место контактные поверхности «ролик – труба» и «труба – оправка», которые в процессе изменяют свой статус и форму [10] и в некоторых зонах, зависящих от обжатия, возникают зазоры. Решение выполнено в пакете Deform – 3D. Оси обкатных роликов и трубы ортогональны. Предварительный расчет представляет собой сжатие трубной заготовки роликами обкатной кассеты с целью определения нужных режимов обкатки. Критерием данного процесса является появление зазора между оправкой и

---

внутренней поверхностью трубы при отсутствии граненности в пределах допусков на наружный и внутренний диаметр и толщину стенки в соответствии с ГОСТ 14162-79. Расчеты показывают, что деформация в одной плоскости двумя роликами не обеспечивает создания равномерного по окружности радиального зазора между трубой и оправкой и свободного извлечения последней.

Полное удовлетворение всех выдвинутых выше условий может быть достигнуто при обкатке в нескольких плоскостях, расположенных под углом  $30^{\circ}$  от их исходного положения. Это требует либо кантовки заготовки на указанный угол, либо применение многороликовой обкатной головки [11], что также рассмотрено в описанной выше модели. Для изученного расчетного числового примера, показанного на рис. 1 (диаметр обкатных роликов 15 мм, наружный диаметр трубы 1 мм и толщина стенки 0,3 мм, диаметр оправки 0,4 мм) варьировали величиной силы обжатия трубы по диаметру. На этой основе нашли положение роликов, определяющее величину обжатия трубы, при котором удовлетворяются все поставленные выше условия [12]. Найдено также технологическое усилие на ролик, что позволяет выполнить прочностной расчет конструкции и выбрать подшипники опор, удовлетворяющие необходимой долговечности.

Полученная модель может быть использована для расчета параметров процесса раскатки всего типоразмерного ряда капиллярных труб из различных материалов.

### Литература

1. Абдрахманов Г.С. Крепление скважин расширяемыми трубами. Самара: Изд. дом «Росинг», 2003. 228 с.
2. Овчинников М.А., Сокол В.А., Соловьева О.Ю., Тарасова Т.А., Грецова Н.В., Клячина Н.В., Лагунов Е.Н. Математическое моделирование изделий из композитных материалов с заданными свойствами //

Инженерный вестник Дона, 2023, № 1

URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8131](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8131)

3. Боргоякова Г.Г., Лозицкая Е.В. Системный анализ и математическое моделирование // Инженерный вестник Дона, 2018, № 1.

URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763).

4. Линн Е Т., Паинг Х. С., Вин Ч. С. Моделирование и визуализация траекторийгиба трубы с помощью МЭМС-датчика процесса // Инженерный вестник Дона, 2021. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6849](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6849).

5. Паршин С.В., Семенова Н.В., Паршина А.А. Моделирование процесса раздачи нефтяных труб в скважине и выбор параметров инструмента // Инженерный вестник Дона, 2023, № 2.

URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8206](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8206).

6. Буркин С.П. и др. Механизм обработки труб. Патент на полезную модель № 76259 // Бюллетень № 26, опубликовано 20.09.2008. 8 с.

7. Hatala M., Botko F., Peterka J., Bella P., Radic P. Evaluation of strain in cold drawing of tubes with internally shaped surface // Materials Today: Proceedings 2020. 22. pp.287-292.

8. Shu G., Jin X., Zhang Y., Gu Y., Zheng B., Jiang Q. Experimental and numerical study of cold-drawn duplex stainless steel square tube columns / Journal of Constructional Steel Researc. 2019. №156. pp. 155–166.

9. Okulov, S.V. Parshin S. V., Spiridonov V. A. Effectiveness of additional loading in drawing noncircular pipe // Russian Eng. Research, 2014. Vol. 34, No. 8. P. 509-511.

10. Власов А.В. Теория обработки металлов давлением. Москва: МГТУ, 2009. 409 с.

11. Okulov R.A., Parshin S.V. Comparative analysis of the use of different types of dies to draw tubes // Metallurgist. 2015. Т. 59. № 1-2. - pp. 156-158.

12. Паршин С.В., Хлебников П.С., Федулов А.А., Семенова Н.В., Паршина А.А. Моделирование процесса обкатки капиллярных труб после длиннооправочного волочения. // *Металлург*. 2023. № 10. С. 89-92.

### References

1. Abdrahmanov G. S. Krepleniye skvazhin ekspandiruyemyimi trubami [Well casing with expandable tube]. Samara: Rosing, 2003. 228 p.
  2. Ovchinnikov M.A., Sokol V.A., Solov'yeva O.YU., Tarasova T.A., Gretsova N.V., Klyachina N.V., Lagunov Ye.N. *Inzhenernyj vestnik Dona*, 2022, № 5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8131](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8131).
  3. Borgojakova G.G., Lozickaja E.V. *Inzenernyj vestnik Dona*. 2018, № 1 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4763).
  4. Linn E., Paing H., Vin C. *Inzenernyj vestnik Dona*. 2021. № 3 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6849](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6849).
  5. Parshin S.V., Semenova N.V., Parshina A.A. *Inzenernyj vestnik Dona*. 2023, № 2 URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8206](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8206).
  6. Burkin S.P. ets. Mehanizm obrabotki trub [The mechanism of pipe processing]: Patent 76259, publ. 20.09.2008. *Bjul.* № 26. 8 p.
  7. Hatala M., Botko F., Peterka J., Bella P., Radic P. *Materials Today: Proceedings*. 2020. № 22. pp. 287-292.
  8. Shu G., Jin X., Zhang Y., Gu Y., Zheng B., Jiang Q. *Journal of Constructional*. 2020. № 22. pp. 287-292.
  9. Shu G., Jin X., Zhang Y., Gu Y., Zheng B., Jiang Q. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. № 156. pp. 155-166.
  10. Okulov, S.V. Parshin S. V., Spiridonov V. A. *Russian Engineering Research*, 2014. V. 34, No. 8. pp. 509-511.
  11. Vlasov A.V. *Teoriya obrabotki metallov davleniyem* [Theory of metal forming]. Moskva: MGTU, 2009. 409 p.
-



12. Okulov R.A., Parshin S.V. Metallurgist. 2015. V. 59. № 1-2. pp. 156-158.
13. Parshin S.V., Hlebnikov P.S., Fedulov A.A., Semenova N.V., Parshina A.A. Metallurg. 2023. № 10. pp. 89-92.

**Дата поступления: 26.12.2023**

**Дата публикации: 8.02.2024**