

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОЧЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ВОЛОЧЕНИЯ ПЛАВНИКОВЫХ ТРУБ

Гомая А.М., Паршин С.В.

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

Ключевые слова: конечноэлементное моделирование, труба профильная, волочение, плавниковая труба, напряжения, деформация, фон Мизес.

Аннотация. В работе смоделирован процесс холодного волочения плавниковых труб с двумя продольными рёбрами. Используя метод конечных элементов, проведены численные расчёты для определения влияния радиуса переходного участка волочильного инструмента на геометрию профиля. Установлено, что оптимальный радиус перехода составляет 4 мм. При этом значении достигается сохранение круглой внутренней поверхности трубы и отсутствие зазоров в зоне плавников. Расчёты выполнены для стали 20.

IMPROVEMENT OF THE WORKING TOOL FOR FIN PIPE DRAWING

Gomay A.M., Parshin S.V.

*Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,
Yekaterinburg*

Keywords: finite elemental modeling, profile pipe, drawing, fin pipe, stress, deformation, von Mises.

Abstract. The cold drawing process of finned tubes with two longitudinal ribs was investigated through modelling. Using the Finite Element Method (FEM), calculations were performed to assess the impact of various radii for the drawing die's transition section. The results demonstrate that the optimal profile shape is achieved with a transition radius of 4 mm. This parameter ensures the preservation of the tube's round inner surface and eliminates gaps in the fin areas. The computations were executed for Steel 20 under cold working conditions.

1. Введение

Бесшовные плавниковые трубы находят широкое применение в энергетике, нефтегазовой промышленности и производстве теплообменных аппаратов, поскольку плавники значительно увеличивают площадь теплообмена, повышая эффективность оборудования. Конструктивно эти трубы имеют два или более продольных ребра, которые также могут служить элементами соединения при сборке [1].

Целью данной работы является оптимизация однопроходного процесса волочения такой трубы, направленная на обеспечение равномерного распределения металла, получения круглой внутренней поверхности и заданной геометрии плавников. Для анализа распределения напряжений и деформаций и прогнозирования поведения металла использовался метод конечных элементов. Основное внимание в исследовании уделено влиянию радиуса переходного участка от тела трубы к плавникам на качество готового профиля. Этот параметр признан ключевым для формирования оптимальной формы профиля и сохранения качества внутренней поверхности [2].

2. Методика эксперимента

Геометрия волоочильного инструмента (волоки и оправки) непосредственно определяет форму и размеры готовой трубы. Для определения оптимальной конфигурации, гарантирующей соблюдение заданных размеров и отсутствие дефектов, был проведен параметрический анализ: разработан ряд трехмерных моделей с варьируемым радиусом переходного участка (R) от 1 до 13 мм с шагом 1 мм. В расчетах учитывались такие факторы, как упругое последствие материала, тип смазки и скорость волочения [1].

2.1. Разработка 3D-моделей

Согласно проекту, в CAD-системе были разработаны модели волок и оправок с различными радиусами (рис. 1). Для упрощения расчетов, модель разделена центральными плоскостями на четыре части и сохранена в формате Parasolid (x_t) (рис. 2).

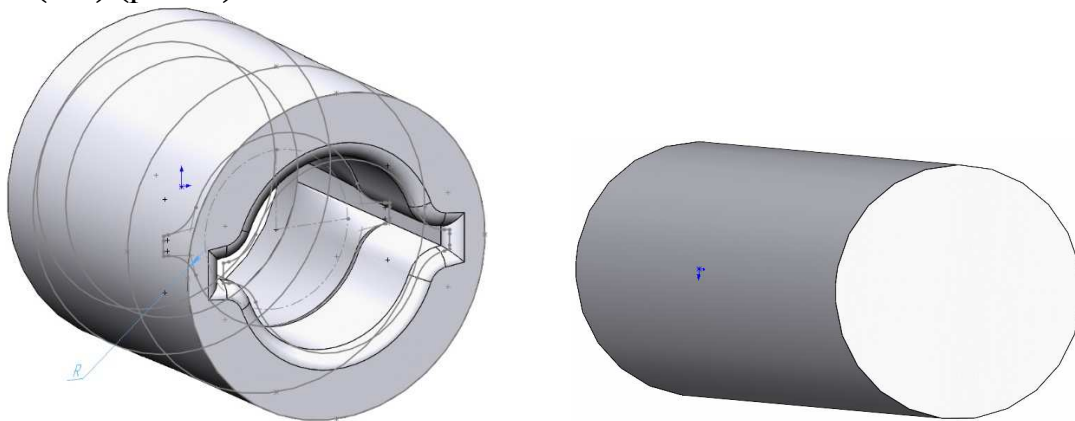


Рис. 1. Геометрическая модель для деталей процесса волочения

2.2. Моделирование

Моделирование проводилось в программном комплексе ANSYS с использованием модуля APDL. Для обеспечения сходимости расчётов были выполнены 12 экспериментов с разными моделями волок, отличающимися радиусом переходного участка. Рисунок 2 иллюстрирует подготовленную модель перед расчётом, а рисунок 3 – геометрию полученной трубы.

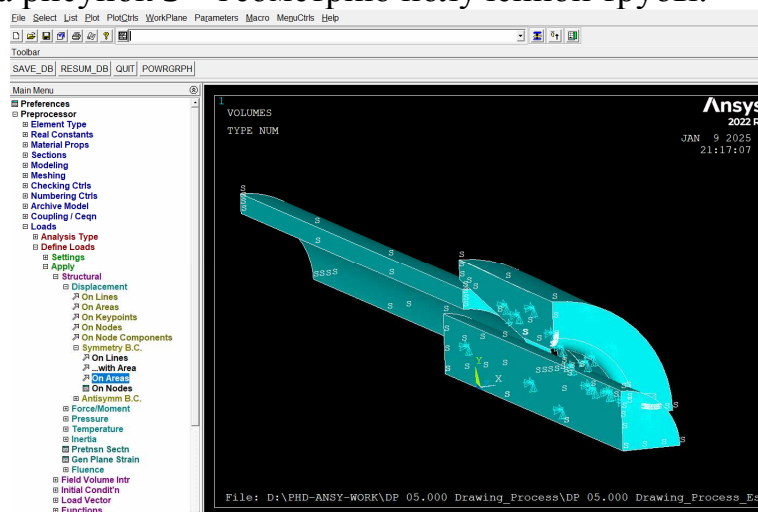


Рис. 2. Готовая обработанная модель перед запуском расчёта

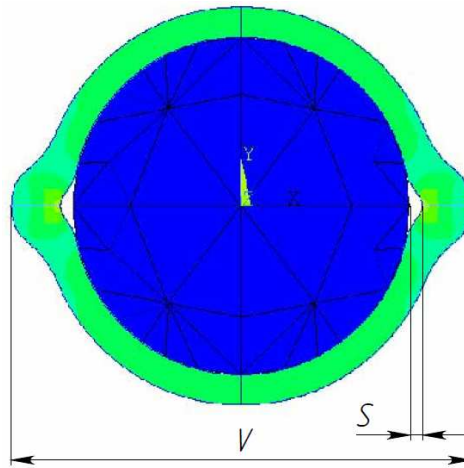


Рис. 3. Вид спереди для волоченной трубы с радиусом перехода, V – ширина трубы по плавникам, мм, и S – зазор образованный, мм

2.3. Характеристики процесса волочения

В рамках данного численного эксперимента моделировался процесс холодного волочения трубы из стали 20 (ГОСТ 1050-88) при температуре 20°C после термической обработки. Технология основана на методе волочения с неподвижной оправкой за один проход. Степень деформации за проход составляла 35-40%, что соответствует коэффициенту вытяжки $\mu = 1,2-1,7$. Были заданы следующие основные параметры процесса: угол рабочей зоны волоки: 10,3°; скорость волочения: 0,5-0,8 м/с; коэффициент трения: 0,1 [4].

3. Экспериментальные работы

Для решения задачи МКЭ выбран пакет ANSYS, позволяющий задавать упругопластические свойства материала (в виде кривой упрочнения) и учитывать одновременный контакт волоки и оправки с заготовкой.

3.1. Результаты расчётного эксперимента

Были получены 12 наборов результатов для разных значений переходного радиуса от главной трубы к плавникам от $R = 1$ мм до $R = 13$ мм с шагом 1 мм (см. табл. 1).

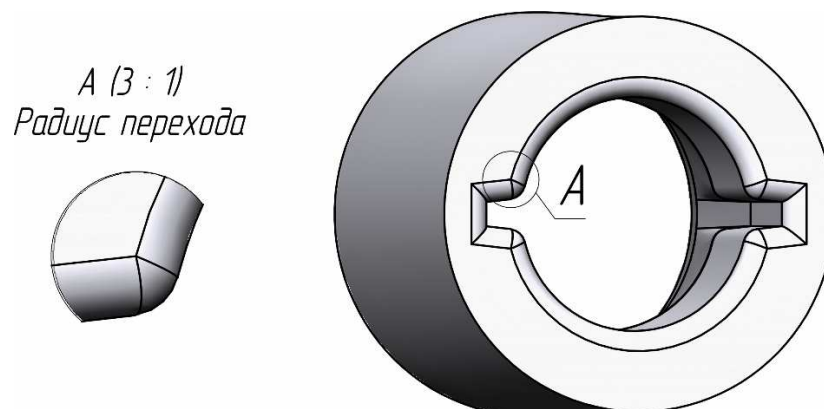


Рис. 5. Геометрическая модель волока используемого при расчёте

Анализ проведён для исходной трубы типоразмера $\varnothing 76/\varnothing 60$ из стали 20, изготовленной методом холодного волочения. Для моделирования процесса использована конечно-элементная модель, содержащая 115 639 элементов,

которая соответствует инструментальной оснастке (модель волокни ВТП 02.001-R4) с переходным радиусом $R = 4$ мм.

Табл. 1. Полученные результаты при волочении при разных радиусах перехода, R

Модель волокни	Радиус перехода, R , мм	Кол-во конечных элементов	Ширина профиля по плавникам, V , мм	Ширина зазора, S , мм
ВТП 02.001-R1	1	150611	62,5	0
ВТП 02.001-R2	2	135295	62,9	0
ВТП 02.001-R3	3	118375	63,03	0
ВТП 02.001-R4	4	115639	63,25	0
ВТП 02.001-R5	5	112572	63,7	0,14
ВТП 02.001-R6	6	109663	64,06	0,33
ВТП 02.001-R7	7	108038	64,59	0,65
ВТП 02.001-R8,5	8,5	106358	65,14	0,95
ВТП 02.001-R10	10	106958	65,82	1,28
ВТП 02.001-R11	11	104298	66,16	1,5
ВТП 02.001-R12	12	102848	66,73	1,7
ВТП 02.001-R13	13	102968	67,14	1,94

Результаты моделирования показывают, что при переходном радиусе 4 мм достигается целевой профиль: ширина изделия по плавникам составляет 63,25 мм. При этом сохраняется круглая форма внутренней поверхности трубы без образования зазоров, что подтверждается данными на рисунке 8 [5].

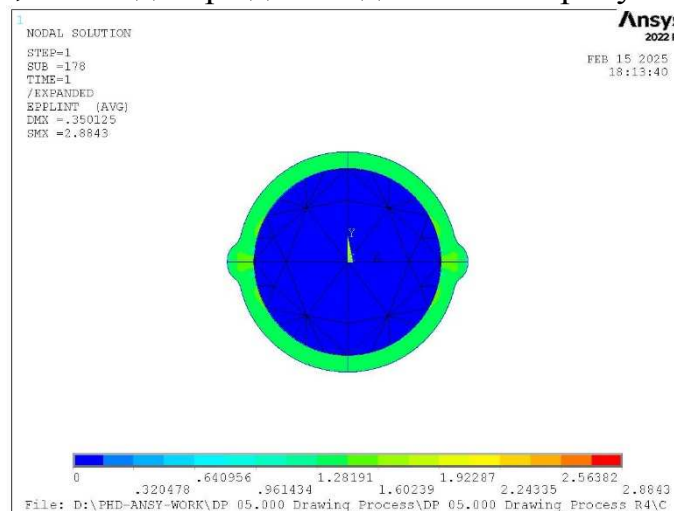


Рис. 6. Поперечное сечение волоченной трубы при переходном радиусе $R = 4$ мм.

3.2. Анализ полученных результатов

3.2.1. Графический анализ

Для анализа полученных данных было построено несколько графиков, показывающих зависимость исследуемых параметров друг от друга. Рассмотрим зависимость образования зазоров, S , мм от радиуса перехода R , мм (рис. 7).

Также была рассмотрена зависимость ширины профиля по плавникам, V , мм от радиуса перехода R , мм (рис. 8).

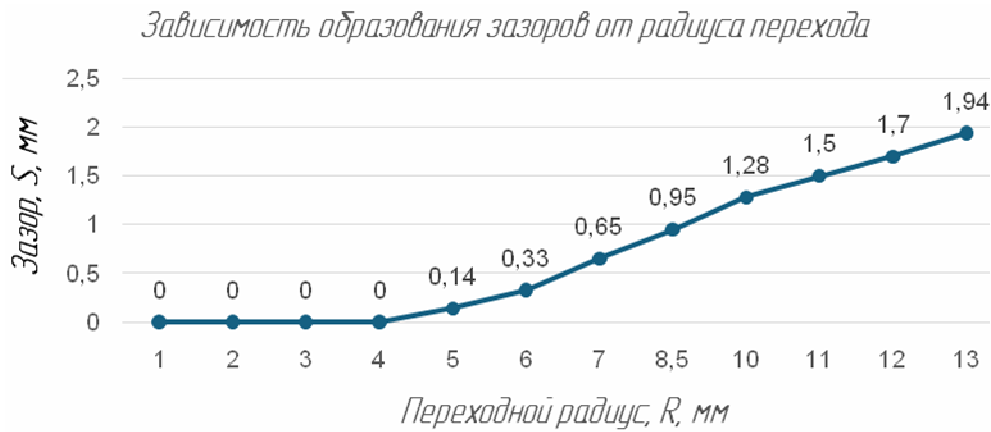


Рис. 7. Зависимость образования зазоров от радиуса перехода

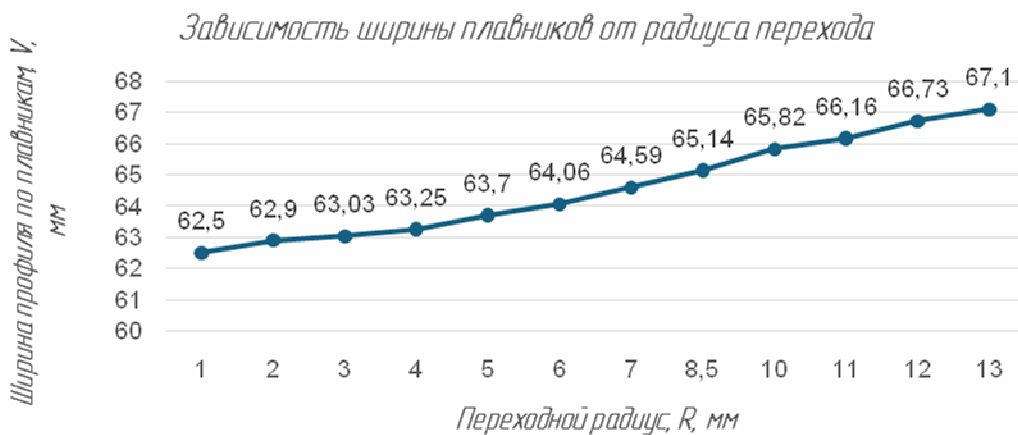


Рис. 8. Зависимость ширины плавников от радиуса перехода

3.2.2. Комментарии к полученным данным

1. Поскольку объем материала, проходящего через волок, является постоянным, изменение переходного радиуса (R) оказывает существенное влияние на оба ключевых параметра: ширину по плавникам (V) и величину зазора (S).

2. Согласно данным Графика 1, при уменьшении радиуса перехода (R от 1 до 4 мм) создается большее давление на материал в зоне перехода от тела трубы к плавникам. Это давление обеспечивает полное заполнение данной области, что способствует сохранению круглой формы внутренней стенки профиля без образования зазора (S). Однако, начиная с $R = 5$ мм и далее (до $R = 13$ мм), давление становится недостаточным, и в зоне перехода начинает формироваться зазор S , который постепенно увеличивается.

3. График 2 демонстрирует обратную зависимость: с ростом радиуса (R) давление на материал в переходной зоне снижается. В результате поток металла преимущественно направляется в боковые стороны, что приводит к увеличению ширины профиля по плавникам (V).

4. Зависимость, представленная на Графике 3, связывает величину переходного радиуса (R) с количеством элементов сетки, генерируемой в ПО Ansys для модели волокна. Увеличение R приводит к уменьшению количества элементов и, как следствие, к снижению веса модели инструмента. Важно отметить, что уменьшение веса в диапазоне $R = 1-4$ мм соответствует оптимальному формированию профиля без зазоров. При $R \geq 5$ мм дальнейшее

облегчение волоки уже сопровождается возникновением дефекта в виде зазора (S), несмотря на использование неизменной модели трубы и оправки.

4. Выводы

Проведённые расчёты на основе предложенной модели позволили определить рациональную геометрию волочильного инструмента. Холодное волочение подтвердило свою эффективность как перспективный метод для изготовления плавниковых труб с заданными параметрами. Наилучшие результаты получены при использовании волоки модели ВТП 02.001-R4 с переходным радиусом $R = 4$ мм. Данная конфигурация обеспечивает целевую ширину профиля по плавникам $V = 63,25$ мм и сохраняет круглую форму внутренней поверхности без образования зазоров. Анализ показал, что при радиусах перехода менее 4 мм наблюдается недобор ширины плавников, тогда как при $R > 4$ мм начинается формирование зазора (S), что негативно влияет на надёжность профиля. Таким образом, радиус $R = 4$ мм является оптимальным.

Список литературы

1. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 224 с.
2. Орлов Г.А. Холодная прокатка и волочение труб: Учебное пособие. – Екатеринбург: УрФУ, 2011. – 192 с.
3. Паршин С.В. Процессы и машины для изготовления профильных труб. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 356 с.
4. Паршин С.В. Состояние и перспективы развития производства профильных труб // Производство проката. – 2008. – №2. – С. 32-35.
5. Shengqiang Liu, Bao Wang, Wei Li, Jinping Liu. Investigation of cold drawing process of thin-walled ribbed steel tube // Journal of Manufacturing processes. 2021, vol. 70, pp. 376-388.

Сведения об авторах:

Гомаа Абделрхман Мостафа Реад Элсаиед – аспирант;

Паршин Сергей Владимирович – д.т.н., доцент, профессор кафедры МиРМ.