

Моделирование процесса длиннооправочного волочения профильных труб

С.В. Паршин, А.Р. Гомаа, П.С. Хлебников, Н.В. Семенова

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

Аннотация: Рассмотрено поэтапное построение компьютерной модели процесса длиннооправочного волочения профильных труб. Определены минимальные размеры заготовок, использование которых обеспечивает получение необходимых размеров готового изделия. Учтена схема приложения деформирующего усилия с корректировкой размеров в текущем состоянии при поэтапном деформировании. Получены геометрические и конечно-элементные модели, позволяющие находить при решении все параметры очага деформации в процессе волочения.

Ключевые слова: размеры заготовки, профильная труба, граничные условия, приложение нагрузки, физическая модель, конечно-элементная сетка

Бурение скважин обычно проводится вращательным способом, при котором круговое движение породоразрушающего инструмента передаётся либо от ротора, расположенного на поверхности либо от забойных двигателей. В этих вариантах бурения исключительно важна роль бурильной колонны, назначение которой состоит, в частности, в том, чтобы передавать крутящий момент от двигателя к долоту, либо воспринимать реактивный момент от забойного двигателя. Важной составной частью бурильной колонны являются профильные ведущие бурильные трубы с толстыми стенками и точным внутренним каналом [1]. Одним из наиболее эффективных способов пластической деформации при получении профильной части этих труб может стать их волочение с использованием профильной волоки и цилиндрической подвижной оправки. Однако теоретическое обоснование, включающее определение параметров заготовки, а также конфигурации рабочего инструмента, технологии процесса и условий получения заданного качества труб не разработаны. В настоящей работе эти элементы рассмотрены поэтапно. При выборе размеров заготовки необходимо учитывать, что в процессе волочения течение металла происходит как в продольном (относительно оси волочения) направлении,

так и в радиальном направлении, что обеспечивает точность размеров готового профиля.

Установлено, что при недостаточной толщине стенки заготовки происходит ее утяжка [2, 3] и заданный профиль не выполняется. В случае использования повышенной толщины стенки увеличивается количество проходов деформации и возникает необходимость промежуточных отжигов.

В этой связи минимально необходимые размеры заготовки на первом этапе определяли по формулам [4], обоснование которых выполнено на основе статистических данных точности труб и которые учитывают основные параметры рабочего инструмента: угол конусности волокни, степень деформации, величину сил трения и др. Эти формулы получены для случая волочения на неподвижной оправке, когда силы трения играют отрицательную роль. В работе рассматривали процесс, при котором рабочее усилие прикладывается к переднему концу подвижной оправки. Силы трения в этом случае становятся активными, улучшается напряженное состояние, а также условия радиального течения металла, что дает возможность снизить цикличность производства. Для изменившихся условий деформации вводили корректировку размеров заготовки. Таким образом, задавая размеры готовой шестигранной трубы, находили размеры заготовки. Далее задача состоит в том, чтобы построить переходные состояния очага деформации. При решении использовали некоторую аналогию волочения сплошных фасонных профилей [5] и шестигранной трубы на оправке.

Для контактной поверхности очага деформации записали условия её минимума, которое, после преобразований, свели к уравнению Лапласа для семейства эквипотенциалей, в которые включены также профили поперечного сечения готовой трубы и заготовки. Семейство линий тока металла также описали подобным уравнением. В результате показана ортогональность указанных выше семейств [6, 7].

Далее полученную трубку тока делили на части, определяемые вытяжками за один переход волочения. Рациональным является применение двухпроходного волочения. При этом построение линий тока и эквипотенциалей выполнялись с использованием теорем сплайнов [8] и методов компьютерной геометрии [9].

В результате определения входного и выходного сечения рабочих валок оказывается возможным построение продольного профиля инструмента для 1 и 2 переходов волочения. Применили линейчатое описание поверхности рабочего инструмента. Строили регулярные коноиды с образующими в виде прямых линий. Условие параллелизма [9] задаем требованием равномерного пересечения образующей во всех положениях с криволинейной направляющей и направляющими отрезками произвольного многоугольника при однопроходном деформировании. На основе найденной твердотельной модели находили конечно-элементный аналог.

Создание компьютерной модели состояло из двух этапов.

Во-первых, создавали геометрическую модель процесса в объемной постановке (тела волокна, оправки и трубной заготовки), для чего использовался программный комплекс Аскон Компас-3D. Моделирование выполняли в объемной постановке с учетом плоскосимметричной геометрии задачи. Масштаб моделирования натуральный, задавали также реальные радиусы скруглений между гранями инструмента. Имеется возможность моделирования трубной заготовки с диаметрами и толщиной стенки из крайних значений полей допусков стандарта на трубы, используемые в качестве заготовки.

Во-вторых, после передачи геометрии производили создание конечно-элементной модели, для чего накладывали объемную конечно-элементную сетку. Использовали элементы в форме трехгранных пирамид (рис.1), что

позволяло, не увеличивая сверх меры плотность сетки и время решения, достаточно точно передать криволинейную форму готовой трубы (в особенности, скругления между гранями) и форму инструмента. Задавали свойства материала трубы в виде кривой упрочнения, взятой по справочным данным. Указывали граничные условия – неподвижность и недеформируемость волокна, подвижность и недеформируемость оправки, рабочее перемещение трубы. Указывали тип контактного взаимодействия, коэффициент трения на контакте, соответствующий реальному. Указывали количество шагов решения, исходя из того, что на каждом отдельном шаге в деформация каждого из конечных элементов не должна превышать 0,15 (критерий, позволяющий исключить значительное искажение отдельных элементов и ведущий к ошибочным результатам). После этого модель была готова к запуску решения [10] и использована для параметрического анализа.

Результатами моделирования являлись данные о перемещениях, деформациях, напряжениях, определенные по отдельным узлам и элементам конечно-элементной сетки, что позволяет построить форму готовой трубы, установить опасные точки профиля по уровню деформаций, а также определить в отдельных выбранных зонах величину ресурса пластичности [11, 12]. Кроме того, является возможным определение давления на контакте трубы и инструмента.

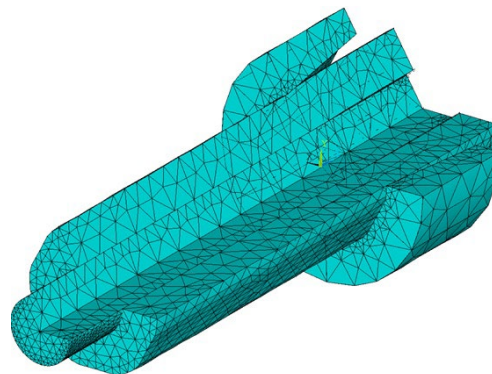


Рис. 1. – Конечно-элементная модель очага деформации
(первый переход)

Литература

1. Вяхирев Р.И., Кершенбаум В.Я. Трубы нефтегазового сортамента. М.: Наука и техника, 1997. 339 с.
 2. Паршина, А.А. Определение профиля рабочего инструмента для волочения труб с переменной толщиной стенки // Производство проката. – 2017. - №3. - С.36-48.
 3. 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
 4. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб. М: Интермет Инжиниринг, 2003. - 224 с.
 5. Выдрин В.Н., Гросман А.Б., Павлов В.К., Нагорнов В.С. Производство фасонных профилей высокой точности. Москва: Металлургия, 1977. - 184 с.
 6. 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.
 7. Гун, Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. М.: Металлургия, 1983. - 352 с.
 8. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения М: Мир, 1972. - 319 с.
 9. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы машинной графики. М.: Мир, 2001. - 604 с.
 10. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы. (пер. с англ.) М.: Мир, 1984. - 428 с.
-

11. Smith C. D. and Jones E. F. Load-cycling in cubic press. in Shock Compression of Condensed Matter-2001, AIP Conference Proceedings 620, edited by M. D. Furnish et al. (AIP Publishing, Melville, NY, 2002), pp. 651–654.
12. Menson S. S. Thermal stresses and low cycle fatigue / Journal of Constructional Steel Research, 2019. № 156. pp. 155–166.

References

1. Vjahirev R.I., Kershenbaum V.Ja. Truby neftegazovogo sortamenta [Oil and gas tubes]. M.: Nauka i tehnika, 1997. 339 p.
 2. Parshina A.A. Proizvodstvo prokata. 2017. №3. pp. 36-48.
 3. 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, 2023, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8131.
 4. Danchenko V.N., Sergeev V.V., Nikulin Je.V. Proizvodstvo profil'nyh trub [Production of profile tubes]. M: Internet Inzhiniring, 2003. 224 p.
 5. Vydrin V.N., Grosman A.B., Pavlov V.K., Nagornov V.S. Proizvodstvo fasonnyh profilej vysokoj tochnosti [Production of high precision shaped profiles]. M: Metallurgija, 1977. 184 p.
 6. Parshin S.V., Semenova N.V., Parshina A.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2023, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2023/8206.
 7. Gun, G.Ja. Matematicheskoe modelirovanie processed obrabotki metallov davleniem [Mathematical modeling of metal forming processes]. M.: Metallurgija, 1983. - 352 p.
 8. Alberg Dzh., Nil'son Je., Uolsh Dzh. Teorija splajnov i ee prilozhenija [Spline theory and its applications]. M: Mir, 1972. 319 p.
 9. Rodzhers D., Adams Dzh. Matematicheskie osnovy mashinnoj grafiki
-



[Mathematical foundations of computer graphics]. М.: Mir, 2001. 604 p.

10. Gallager R. Metod konechnyh jelementov. Osnovy [Finite element method]. М.: Mir, 1984. 428 p.

11. Smith C.D., Jones E.F. AIP Conference Proceedings 620, edited by M. D. Furnish et al. (AIP Publishing, Melville, NY, 2002), pp. 651–654.

12. Menson S. S. Journal of Constructional Steel Research. 2019. № 156. pp. 155–166.

Дата поступления: 30.12.2024

Дата публикации: 3.02.2025