

УДК 621.981.011

ОБ ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ АНИЗОТРОПНОЙ ТРУБНОЙ ЗАГОТОВКИ ПРИ ИЗГИБЕ ПРОТАЛКИВАНИЕМ

© 2013 В.Д. Маслов, К.А. Николенко, В.Д. Мисюра, К.А. Николенко

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 04.12.2013

Приведена методика применения конечно-элементного анализа процесса изгиба трубной заготовки проталкиванием. Установлено влияние нормальной анизотропии свойств заготовки на напряженно-деформированное состояние.

Ключевые слова: изгиб трубной заготовки проталкиванием, конечно-элементный анализ, напряженно-деформированное состояние, влияние анизотропии.

В России существует значительный по емкости рынок элементов трубопроводов – крутоизогнутых отводов, изготавливаемых из коррозионно-стойкой стали. Основными потребителями этих отводов являются предприятия молочной и пищевой промышленности, предприятия индустрии производства напитков, фармацевтическая, химико-технологическая промышленности и пр. На рис. 1 в качестве примера показан фрагмент технологического трубопровода предприятия пищевой промышленности. Эти отрасли интенсивно развиваются и потребность в элементах трубопроводов растёт.

Геометрические параметры тонкостенных отводов из коррозионно-стойкой стали определяются стандартом DIN 11852 и некоторые из них приведены в таблице 1.

Согласно ГОСТ 8734-85 [1], трубы, из которых изготавливаются рассматриваемые крутоизогнутые отводы, относятся к тонкостенным трубам с относительной толщиной, равной $12,5 < DH/S \leq 40$, где: DH и S – соответственно наружный диаметр трубы и ее толщина стенки.

До настоящего времени предприятиями Российской Федерации не освоено серийное производство тонкостенных крутоизогнутых отводов из коррозионно-стойкой стали. Для изготовления технологических трубопроводов на Российский рынок поставляются отводы производства

Маслов Валентин Дмитриевич, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением. E-mail: aviv-tek@yandex.ru

Николенко Кирилл Анатольевич, аспирант кафедры обработки металлов давлением. E-mail: nik_kin_86@mail.ru

Мисюра Валентин Дмитриевич, студент инженерно-технического факультета. E-mail: avia-tek@yandex.ru

Николенко Константин Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением. E-mail: nik_kin_79@mail.ru

Италии, Испании, Германии, Швеции, Финляндии, Голландии, а в последнее время и Китая.

Цель проводимых исследований – разработка технологии и конструкции оснастки для производства импортозамещающей продукции – тонкостенных крутоизогнутых отводов из коррозионно-стойкой стали X18H9.

Формообразование тонкостенных крутоизогнутых отводов с соотношением $R/DH = 1 - 1/5$ (где R и DH – соответственно радиус изгиба по срединной поверхности отвода и наружный диаметр трубной заготовки) представляет определенные трудности.

Среди большого многообразия методов формообразования отводов с малым радиусом кривизны, существующих в настоящее время, применяются в основном, два [2]: проталкивание трубной заготовки с внутренним наполнителем через матрицу, имеющей криволинейную ось, и протяжка – раздача трубной заготовки на рогообразном сердечнике. Основной формоизменяющей операцией является изгиб, то есть поворот сечений заготовки относительно центра кривизны.



Рис. 1. Фрагмент технологического трубопровода предприятия пищевой промышленности

Таблица 1. Геометрические параметры отводов из коррозионно-стойкой стали

Dy	D1	D2	L	R	Вес (кг)
25	25	28	50	50	0,05
32	32	35	55	55	0,08
40	38	41	60	60	0,10
50	50	53	70	70	0,17
65	66	70	80	80	0,39
80	81	85	90	90	0,57
100	100	104	100	100	1,17

Для осуществления гибки проталкиванием заготовки с наполнителем требуются специализированные прессы (ПГФП 20/100), которые имеют ограниченное применение.

При протяжке - раздаче по рогообразному сердечнику необходим дифференцированный нагрев заготовки, и также требуется специализированное оборудование [2].

Цены крутоизогнутых отводов, изготовленных этими двумя методами, не выдерживает конкуренции с ценой отводов, поставляемых по импорту в связи с высокими трудозатратами на их изготовление, а также применением дорогостоящего специализированного оборудования.

Предпринимались попытки изготовления крутоизогнутых отводов проталкиванием в матрицу с криволинейной осью на универсальном

оборудовании [3]. Внутреннее давление в заготовке создавалось сжатием наполнителя из полиуретана СКУ-7Л. Однако в результате того, что полиуретан в настоящее время имеет высокую стоимость, а стойкость его в процессе формоизменения трубных заготовок не велика, этот метод не нашел широкого применения.

В настоящей работе для снижения трудозатрат по изготовлению тонкостенных отводов, формообразование осуществляется в холодном состоянии, в жестком инструментальном штампе. В качестве деформирующего оборудования используются универсальные гидравлические листоштамповочные прессы.

Для формообразования отводов разработана конструкция устройства [4], схема которого приведена на рис. 2.

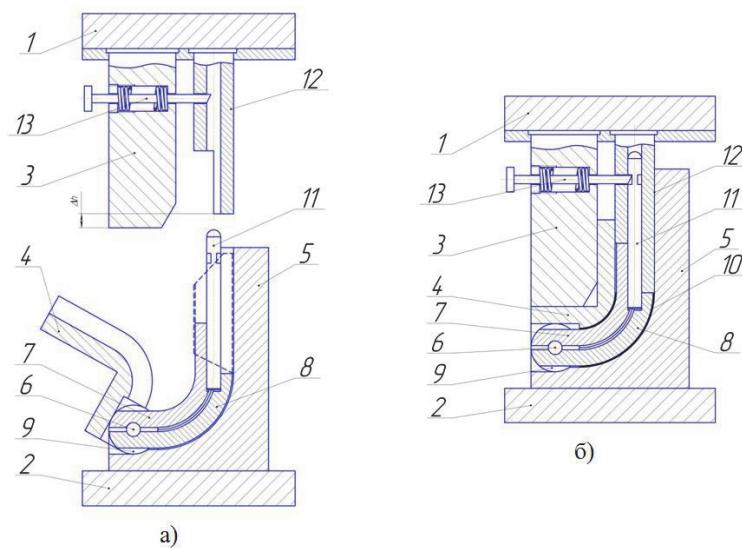


Рис. 2. Схема устройства для формообразования крутоизогнутого патрубка:
а – исходное положение; б – завершение процесса формообразования

Устройство состоит из двух полуматриц 4 и 5, при смыкании которых образуется криволинейный канал матрицы соответствующей геометрии. Полуматрица 4 имеет возможность вращаться на оси 6 и откидываться в нерабочее положение. На верхнем основании устройства 1 выполнен противоотжим 3, который при рабочем ходе устройства фиксирует рабочее положение подвижной полуматрицы 4 в рабочем положении, плотно прижимая ее к неподвижной полуматрице 5. В рабочей фильере полуматриц расположена составная жесткая оправка, состоящая из двух частей 7 и 8. Нижний задний торец составной оправки охвачен муфтой 9 и вместе с ней помещен на ось вращения 6. Части оправки 7 и 8 имеют возможность сближаться друг с другом, освобождая отштампованную деталь 10. Для фиксации частей оправки 7 и 8 в рабочем положении в конструкции устройства предусмотрен жесткий замок 11. Замок 11 в процессе формообразования детали остается неподвижным и имеет возможность утапливаться во внутреннюю полость пуансона 12 при его движении вниз. На пуансе 12 расположен подпружиненный фиксатор 13, захватывающий замок 11 и извлекающий его из оправок 7 и 8 при обратном ходе пресса.

Готовая деталь после формообразования имеет различную протяженность образующих по минимальному и максимальному радиусам. Для того, чтобы уменьшить неравномерность деформации при формообразовании детали, заготовка перед штамповкой выполняется разновысокой. То есть исходная трубная заготовка имеет скосы на переднем и заднем торце.

Для разработки методики проектирования процесса формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов, необходимо определить напряженно-деформированное состояние заготовки и определить особенности деформирования заготовки в данном процессе.

Аналитическое определение напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе формообразования отвода является довольно сложной задачей. Очаг деформации имеет сложный нестационарный характер. Изменяются его границы и граничные условия. Напряженно-деформированное состояние заготовки изменяется как во времени, так и при переходе от точки к точке. Большинство существующих до настоящего времени методик анализа формообразования элементов трубопроводов направлены (в основном) на определение энергосиловых параметров процесса [5]. Они не позволяют установить особенности деформирования заготовки без грубой схематизации процесса.

Определить напряженно-деформированное состояние заготовки в процессе изготовления

тройника процесса, в любой точке заготовки и в любой момент деформирования, можно с помощью конечно-элементного моделирования процесса формообразования. Для этой цели в выполняемых исследованиях использован конечно-элементный программный продукт – ANSYS-LS/DYNA [6]. Модель деформируемого металла при моделировании процесса – упрочняемый трансверсально анизотропный материал – TransverseAnisotropicMaterial (металл с нормальной анизотропией свойств). Деформационное упрочнение материала в процессе формообразования описывается кривой упрочнения, полученной при испытании образца на одноосное растяжение. Для моделирования деформируемой заготовки был выбран элемент SHELL 163 – оболочечный элемент с 4 узлами, возможностью изгиба и пружинения. Элемент имеет 12 степеней свободы в каждом узле. Геометрия оснастки и заготовки построена в CAD-системе КОМПАС-3D V8 с последующим импортированием в ANSYS/ LS-DYNA.

С целью получения достоверных результатов анализа, весь процесс формообразования разбивается на стадии и в пределах каждой стадии выполняется определение напряженно-деформированного состояния по всему объему заготовки. При переходе от стадии к стадии накопленные деформации и интенсивность деформации сохраняется для расчета на последующей стадии. На рисунке 3 показаны отдельные стадии моделирование процесса формоизменения заготовки – при достижении угла гиба заготовки в 30°, 60° и 90°

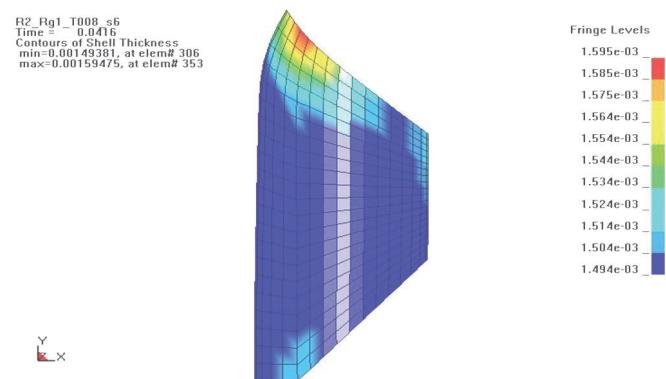
Математическое моделирование процесса формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов с применением программного обеспечения ANSYS/ LS-DYNA, позволило установить особенности деформирования заготовки в процессе штамповки.

В результате моделирования установлено, что процесс формообразования отвода путем вталкивания в матрицу трубной заготовки имеет свои особенности. Процесс осуществляется по более сложным закономерностям, чем процесс обычной гибки. Имеют место два процесса деформирования трубы: изгиб и продольный сдвиг. Наличие сдвиговых деформаций, развивающихся в осевой направлении трубной заготовки, уменьшает величину тангенциальных деформаций изгиба трубы в зонах растяжения и сжатия. Это изменяет картину деформированного состояния заготовки.

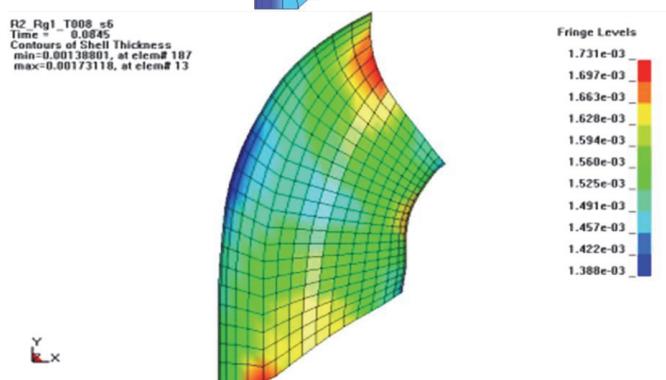
В результате анализа установлено, что образующая, расположенная по максимальному радиусу заготовки, утоняется не вся равномерно, как это принято считать в соответствии с гипотезой плоских сечений. На рис. 4 показано изме-

Стадии процесса
формообразования

Угол гиба 300



Угол гиба 600



Угол гиба 900

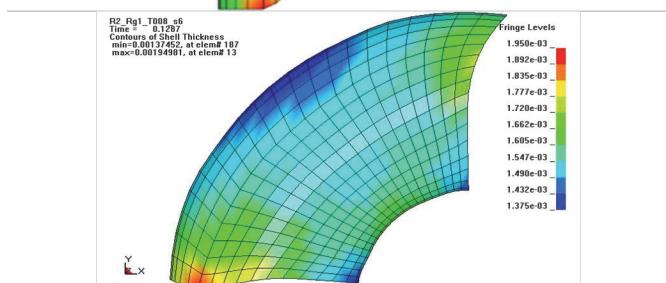


Рис. 3. Отдельные стадии моделирования процесса

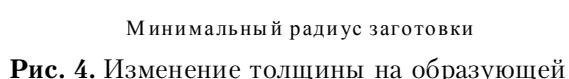
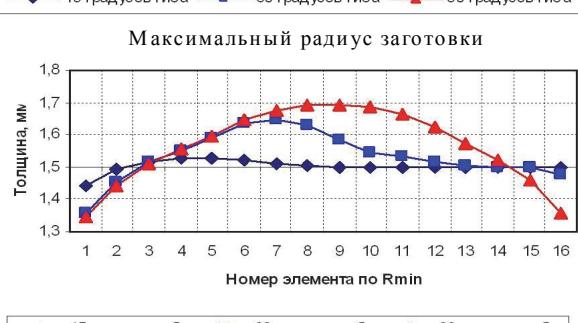
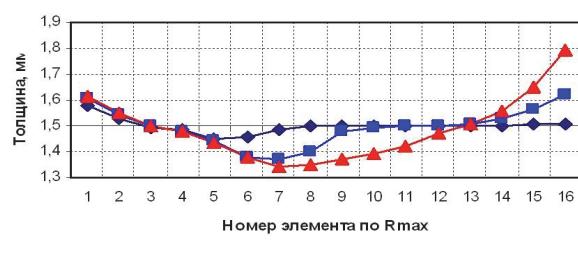


Рис. 4. Изменение толщины на образующей

нение толщины заготовки с начальной толщиной 1,5 мм при формообразовании крутоизогнутого отвода с относительным радиусом кривизны, равном 1,0. Из рисунка видно, что максимальное утонение наблюдается в центральных областях образующей, имеющей максимальный радиус. При рассмотрении участков этой образующей, расположенных ближе к переднему и заднему торцу, величина утонения начинает снижаться, и переходит в увеличение толщины на самих торцах.

Также отличается от традиционного изменения толщины элементы заготовки на образующей с минимальным радиусом кривизны. Центральная зона заготовки по этой образующей увеличивается, в то время как по мере перемещения к торцам заготовки толщина заготовки уменьшается и начинает утоняться на самих торцах.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что определение размеров исходной трубной заготовки для формообразования отвода не-

Таблица 2. Влияние относительного радиуса кривизны на утонение заготовки

№/№	Относительный радиус гиба	Математическая модель отвода	Минимальная толщина заготовки S (мм) и величина деформации утонения e_s
1	$R_{\text{г.отн.}} = 0,6$		$S = 1,378$ $e_s = -0,0848$
2	$R_{\text{г.отн.}} = 1,0$		$S = 1,375$ $e_s = -0,0871$
3	$R_{\text{г.отн.}} = 1,5$		$S = 1,381$ $e_s = -0,0826$
4	$R_{\text{г.отн.}} = 2,0$		$S = 1,385$ $e_s = -0,0797$

обходится осуществлять не из допущения, что длина срединной поверхности заготовки не изменяется, а из допущения что с точностью до 5 % не изменяется длина образующих по большему и меньшему радиусам готовой детали.

В результате анализа также установлено, что величина радиуса гиба не влияет на величину утонения заготовки в опасных сечениях. Установлено, что величина минимально допустимого радиуса гиба не ограничивается пластичностью деформируемого материала, а ограничивается лишь геометрией самой детали.

Из таблицы 2 видно, что при уменьшении относительного радиуса кривизны изготавливаемого отвода от величины $R_{\text{г.отн.}} = 2$ до величины $R_{\text{г.отн.}} = 0,6$ утонение заготовки в зоне максимальной деформации практически не изменяется. Величина логарифмической деформации утонения заготовки во всем интервале изменения относительного радиуса гиба находится в пределах от $e_s = -0,082$ до $e_s = -0,087$, то есть практически не изменяется. Следовательно, этот метод формообразования отводов более предпочтителен, поскольку известно, что чем меньше радиус



Рис. 5. Полуматрица для изготовления отвода и составная жесткая внутренняя оправка

используемых отводов, тем более компактно можно изготовить трубопровод в целом.

Результаты моделирования процесса формообразования отвода вталкиванием в матрицу и разработанная конструкция устройства для формообразования прошли лабораторно-промышленное

апробирование.

На рис. 5 показана полуматрица для формообразования отвода и жесткая разъемная внутренняя вставка.

В табл. 3 показаны стадии изготовления крутоизогнутого патрубка из хромоникелевой ста-

Таблица 3. Стадии изготовления тонкостенного отвода

№/ №	Наименование этапа	Внешний вид заготовки
1	Исходная трубная заготовка со скосами	
2	Заготовка отвода после формообразования	
3	Заготовка отвода после подрезки припуска на торцах	



ли X18H9 условного прохода ДУ50 с толщиной стенки 1,5 мм.

Апробирование разработанной конструкции устройства и предлагаемой технологии показали устойчивость процесса формообразования заготовки.

Величина усилия формообразования отвода с условным проходом Ду 50 из хромоникелевой стали X18H9 с толщиной стенки 1,5 мм находится в интервале 150 -160 кН, трудоемкость формообразования одной детали при использовании гидравлического листоштамповочного пресса составляет 0,4 -0,5 минут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 8734-85. Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные. Сортамент. М.: Издательство стандартов, 1985. 12 с.
2. Гальперин А.И. Машины и оборудование для гнутья труб. М.: Машиностроение, 1967. - 189 с.
3. Формообразование крутоизогнутых патрубков из тонкостенных заготовок на универсальных гидропрессах прессах / С.А. Эрбейгель, Э.И. Письменный, И.И. Сагалович // Кузнеично-штамповочное производство. 1989. № 4. С. 21 – 24.
4. Патент 130241 Российская Федерация МКП B21C 37/29. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов / Маслов В.Д., Николенко К.А., Мисюра В.Д.; заявитель и патентообладатель Самарский гос. аэрокосмич. университет.- № 2013105307/02, заявл. 07.02.13; опубл. 20.07.13. Бюл. № 23. 3 с.
5. О новом подходе к формообразованию тонкостенных тройников / В.Д. Маслов, Ю.О. Петров, А.Ю. Северененко // Авиационная промышленность. 2013. № 2. С. 37 – 41.
6. Маслов В.Д., Николенко К.А. Моделирование процессов листовой штамповки в программном комплексе ANSYS-LS/DYNA: учебное пособие. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. 80 с.

ON THE INFLUENCE OF ANISOTROPY ON TUBE STOCK BENDING PROCESS BY PUSHING

© 2013 V.D. Maslov, K.A. Nikolenko, V.D. Misyura, K.A. Nikolenko

Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov
(National Research University)

There is presented the technique of FEM technologies application for simulation of the bending process by pushing. The influence of anisotropy on tube stock bending process by pushing are determined.

Key words: the bending process by pushing, the stress-strain state, variation in thickness, anisotropy,

Valentin Maslov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Plastic Working of Metal Department.

E-mail: aviv-tek@yandex.ru

Kirill Nikolenko, Graduate Student at the Plastic Working of Metal Department. E-mail: nik_kin_86@mail.ru

Valentin Misyura, Student at the Plastic Working of Metal Department. E-mail: avia-tek@yandex.ru

Konstantin Nikolenko, Candidate of Technics, Associate Professor at the Plastic Working of Metal Department.

E-mail: nik_kin_79@mail.ru