

УДК 621.7.04

DOI: 10.35211/1990-5297-2025-8-303-27-31

Ю. К. Павлов, В. А. Терехин, Ю. Л. Чигиринский

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ШТАМПОВКИ ТОЛСТОСТЕННЫХ ОТВОДОВ

Волгоградский государственный технический университет

E-mail: techmash@vstu.ru, terehin.man@mail.ru; julio-tchigirinsky@yandex.ru

Рассмотрены вопросы, связанные с технологическим и инструментальным обеспечением промышленного производства толстостенных фитингов для нефте- и газопроводов. Одной из проблем при производстве названного класса деталей нефтехимического машиностроения является неравномерность толщины стенки изделия, возникающая на операциях гибки исходной заготовки за счет интенсивного растяжения «наружной» и сжатия «внутренней» стенок трубы. Предложена технология штамповки, обеспечивающая возможность изготовления детали типа «отвод» с минимальной разностенностью.

Ключевые слова: толстостенные отводы, формообразование методом штамповки, торовая оболочка, разностенность

© Павлов Ю. К., Терехин В. А., Чигиринский Ю. Л., 2025.

Yu. K. Pavlov, V. A. Terekhin, Ju. L. Tchigirinsky

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF STAMPING THE THICK-WALLED BENDS

Volgograd State Technical University

The issues related to the technological and instrumental support of industrial production of thick-walled fittings for oil and gas pipelines are considered. One of the problems in the production of this class of petrochemical engineering parts is the uneven wall thickness of the product, which occurs during the operations of bending the initial billet due to intensive stretching of the "outer" and compression of the "inner" walls of the pipe. A stamping technology is proposed that provides the possibility of manufacturing a part of the "tap" type with a minimum wall thickness.

Keywords: thick-walled bends, forming by stamping, torus shell, wall thickness

Отвод – общее название класса деталей трубопровода, предназначенных для отвода транспортируемого потока от прямой трубы [1]. Технологические условия эксплуатации технологических трубопроводов различного назначения предполагают возможные значения внутреннего давления (P_y) от глубокого вакуума до 250 Мпа, при температуре рабочей среды в интервале $[-250\text{ }^{\circ}\text{C}; +700\text{ }^{\circ}\text{C}]$ и более. Среднестатистические нормы [1] расхода (по массе) типовых деталей при монтаже стальных технологических

трубопроводов составляют: прямых труб 63..64 %, отводов 18..20 %. Оставшиеся 17..18 % массы трубопровода приходятся на различного рода арматуру: запорную, регулирующую, крепежную и т. п. В сравнении с отводами различной конфигурации, прямые трубы представляют собой изделия более технологичные. Как следствие, обеспечение качества продукции при изготовлении отводов является важной производственной задачей, определяющей работоспособность трубопровода, в целом.

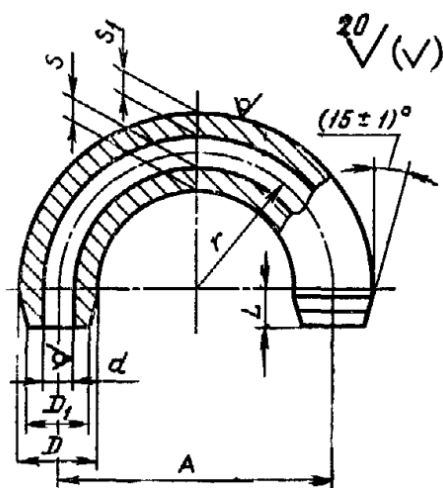


Рис. 1. Эскиз и общий вид отвода «колено двойное» [2]

В данной работе мы рассматриваем технологические особенности изготовления толстостенных отводов типа «колено двойное» [2, 3], содержащих два прямолинейных и один криволинейный участок (рис. 1). Угол поворота потока в таком отводе составляет 180° . Криволинейный участок представляет собой полутору с радиусом кривизны оси r , наружным и внутренним диаметрами, соответственно, D и d . Расчетный средний радиус трубы:

$$r_1 = 0,25(D + d). \quad (1)$$

Толщины стенок криволинейного участка составляют, соответственно, S (внутренняя) и S_1 (наружная). В расчетах на прочность [4]

принимается допущение о равенстве толщин наружной и внутренней стенок: $S = S_1$. Второе допущение предполагает, что расчет полуторного криволинейного участка допустимо выполнять [4] как для сферической (2) или цилиндрической (3) оболочек, вводя соответствующие поправочные коэффициенты:

$$m_c = (2r \pm 0,5d) / (r \pm 0,5d), \quad (2)$$

$$m_{cy} = (2r \pm 0,5d) / 2 \cdot (r \pm 0,5d), \quad (3)$$

где знак «+» – поправка на толщину внутренней стенки (утолщение), знак «-» – на толщину наружной стенки (утонение).

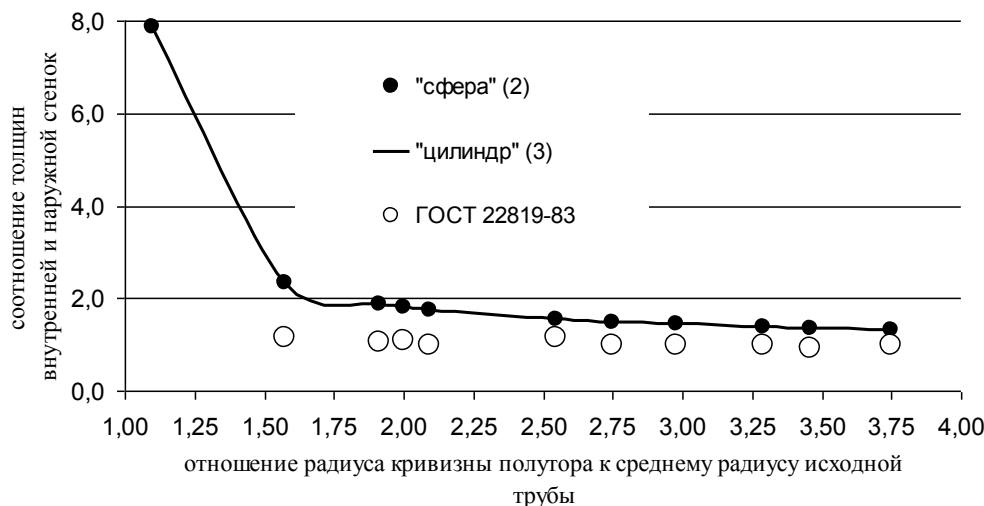


Рис. 2. Изменение толщины стенки полутора

Отметим, что поправочные коэффициенты (2, 3) не учитывают: (1) влияние угла отвода потока, который может составлять от $22,5^\circ$ до 180° и должен существенно влиять на утонение внешней стенки колена и, соответственно, на утолщение внутренней стенки; (2) не чувствительны к способу коррекции толщины стенок

ки – и «сфера» (2) и «цилиндр» (3) дают одинаковое соотношение толщин внутренней и наружной стенок (рис. 2, таблица). Также заметим, что нормативная документация [2] не учитывает влияние технологии изготовления (гибка трубы вальцовкой) на разностенность (рис. 2, таблица) изделия.

Изменение толщины стенки полутора

Способ расчета	отношение радиуса кривизны полутора к среднему радиусу трубы														
	1,10	1,57	1,91	2,00	2,10	2,50	2,55	2,75	2,98	3,00	3,25	3,29	3,46	3,50	3,75
«сфера» (2)	7,87	2,33	1,87	1,80	1,74	1,56	1,54	1,48	1,43	1,43	1,39	1,38	1,35	1,35	1,32
«цилиндр» (3)	7,87	2,33	1,87	1,80	1,74	1,56	1,54	1,48	1,43	1,43	1,39	1,38	1,35	1,35	1,32
ГОСТ [2]	–	<i>1,14</i>	<i>1,07</i>	<i>1,08</i>	<i>1,00</i>	–	<i>1,16</i>	<i>1,00</i>	<i>1,00</i>	–	–	<i>1,00</i>	<i>0,93</i>	–	<i>1,00</i>

Примечание: курсивом выделены значения, приведенные в ГОСТе [2]

На практике, при гибке труб, за счет интенсивного растяжения металла на внешней стенке и сжатия на внутренней, разностенность может достигать 30..45 % и более – при малом различии радиусов кривизны колена и исходной трубы до 1,74...2,33 крат. При этом возникает нецилиндричность внутренней полости колена – различие между наибольшим и наименьшим диаметрами в поперечном сечении отверстия доходит до 15 %. Как результат увеличивается гидравлическое сопротивление отвода и, за счет утонения, а, соответственно и снижения прочности, уменьшается предельно допустимое рабочее давление – в ряде случаев, до 4 крат.

Очевидно, что основная причина описанной проблемы определяется именно технологией изготовления отвода: если в качестве исходной заготовки используется цилиндрическая труба с соосными наружной и внутренней поверхно-

стями, то в результате изгиба будет получаться колено с существенной разностенностью.

Для уменьшения разностенности необходимо изменить направление действия сил, прикладываемых к исходной заготовке. Альтернативой технологии гибки можно считать штамповку из плоского листа (рис. 3) с последующей сваркой верхней и нижней частей изделия [5].

Необходимость двух сварных швов: по наружной и внутренней направляющим оболочкам, – предусмотренная рассмотренными способами (рис. 3) штамповки верхней и нижней полуформ криволинейного участка отвода, обуславливает определенное ослабление конструкции изделия. При этом, разностенность криволинейного участка колена и некруглость поперечного сечения существенно снижается. В частности, разностенность уменьшается от 45 до 30 %.

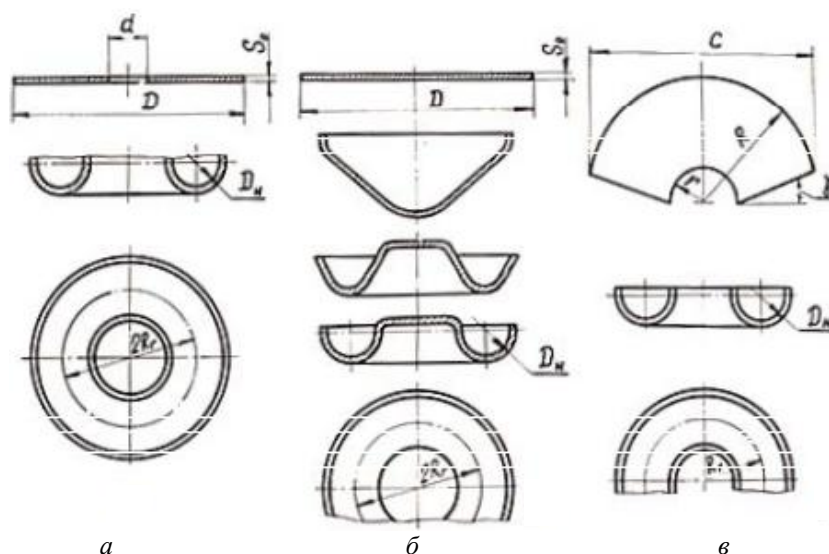


Рис. 3 Способы штамповки полуторов и отводов из листовых заготовок:
а – кольцеобразной; б – круглой; в – секторной

Способ уменьшения разностенности предполагает замену технологии раздельной штамповки верхней и нижней половин колена (рис. 3) на штамповку-«сворачивание» цельной полуторовой оболочки из плоской заготовки, которая представляет собой развертку (рис. 4, а) полутора с радиальными вырезами по боковой поверхности, что позволяет изменить направление приложения сил при выполнении операции (рис. 4, б) штамповки.

После сворачивания полуторовой оболочки

выполняется сварка по радиальным разрезам на боковой поверхности.

В результате изменения способа штамповки – (1) изменение направления приложения нагрузки [6]; (2) выполнение операции в четыре этапа [7] и, как следствие, снижение интенсивности приложения нагрузки, – обеспечивается уменьшение разностенности криволинейного участка изделия «колесо двойное» от 30 % – при традиционной штамповке [5] двух полуформ (рис. 3) до 3 % (рис. 4).

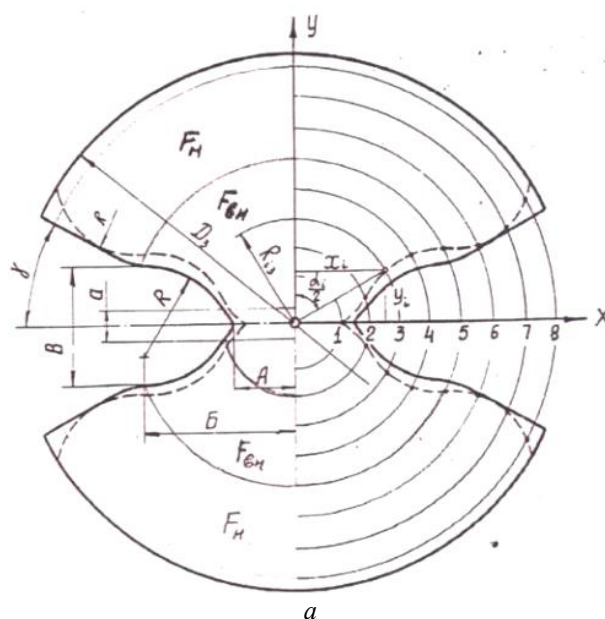
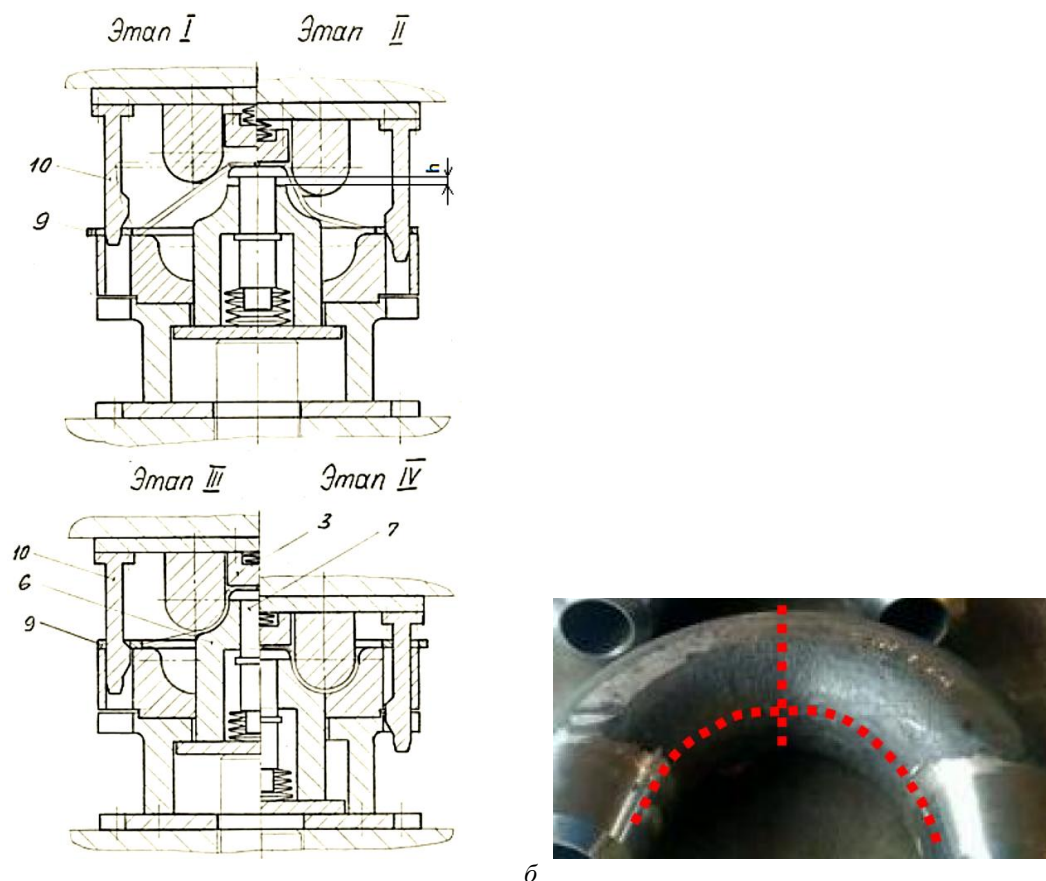


Рис. 4. Схема формирования полуторовой цельной криволинейной части отвода штамповкой из листа:
а – схема развертки боковой поверхности полутора [6] на плоскость; б – схема штамповки [7] полутора из заготовки с радиальными вырезами по боковой поверхности с последующим завариванием боковых вырезов (расположение сварных швов выделено цветом) (см. также с. 31)



б

Рис. 4. Окончание

Существенное снижение разностенности определяется тем, что изгибу при формообразовании подвергается не жесткая труба (радиус изгиба сравним с радиусом изгибаемой трубы), а плоский лист (толщина листа кратно меньше радиуса изгиба). Соответственно, поправочные коэффициенты на изменение толщины листа (2, 3) определяются только радиусом изгиба.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тавастшерна, Р. И. Изготовление и монтаж технологических трубопроводов / Р. И. Тавастшерна. – М.: Высшая школа, 1983.
2. ГОСТ 22819–83. Сборочные единицы и детали трубопроводов. Колена двойные на Ру св. 10 до 100 МПа (св. 100 до 1000 кгс/см кв.). Конструкция и размеры. – М.: Изд. Стандартов, 1991.
3. ГОСТ 22790–89. Сборочные единицы и детали трубопроводов на Ру свыше 10 до 100 МПа (свыше 100 до 1000 кгс/см²). Общие технические условия. – М.: Изд. Стандартов, 1989.
4. Справочник машиностроителя. В 6 т. Т. 1, 3 / под ред. Н. С. Ачеркана. – М.: Машгиз, 1962.
5. Лукьянов, В. П. Штампы для крутоизогнутых отводов. Основные технические параметры и типовые конструкции / В. П. Лукьянов, Ю. К. Павлов // РТМ 26 3-70. Руководящий технический материал. – М.: Минхимнефтемаш, 1970.
6. А. с. № 767446, от 13.02.74. Толстостенный крутоизогнутый отвод / Ю. К. Павлов; Бюл. № 36 от 30.09.80.
7. А. с. № 439327 от 02.04.1973. Штампы для изготовления заготовки торовой оболочки / Ю. К. Павлов; Бюл. № 30 от 15.08.1974.