

УДК 621.981.011

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ КРУТОИЗОГНУТЫХ ОТВОДОВ

© 2017 И.П. Попов, Кир.А. Николенко, Кон.А. Николенко, И.А. Латушкин, В.В. Яшин

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Статья поступила в редакцию 30.15.2017

Представлены аналитические зависимости для расчета процесса штамповки крутоизогнутых отводов из различных материалов. Описана технология изготовления крутоизогнутых отводов. Разработана конструкция и описана работа промышленной штамповой оснастки.

Ключевые слова: технология, технологические параметры, штамповая оснастка, крутоизогнутый отвод, размеры заготовки, усилие процесса, предельные параметры процесса.

Существующие в настоящее время способы и устройства формообразования крутоизогнутых отводов (горячая раздача трубной заготовки на рогаобразной оправке, изготовление отводов на специализированных прессах, штамповка с помощью полиуретана) не отвечают в полной мере современным рыночным требованиям. Существующие способы создают необходимость использовать при изготовлении крутоизогнутых отводов дорогостоящие специализированные прессы, что приводит к повышению себестоимости изделия. Штамповка отводов на универсальном оборудовании в штампах с использованием в качестве наполнителя полиуретана так же не отличается низкой себестоимостью. Стойкость эластичных элементов невысока, требуется их постоянное обновление, а стоимость полиуретана в настоящее время на порядок выше стоимости инструментальных сталей. Такое состояние технологии формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов приводит к необходимости создания новых конкурентоспособных технологических процессов, отвечающих современным требованиям рынка.

Одним из направлений, связанных со снижением себестоимости крутоизогнутых отводов в отечественной промышленности является использование широкодоступного оборудования и инструментальной оснастки. Разработка новых устройств, технологии и методик проектирования процессов с использованием универсального оборудования и инструментальных Попов Игорь Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «ОМД». E-mail: igr_porov@mail.ru
Николенко Кирилл Анатольевич, аспирант кафедры «ОМД». E-mail: Nik_Kin_86@mail.ru
Николенко Константин Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «ОМД». E-mail: Nik_Kin_79@mail.ru
Латушкин Илья Анатольевич, аспирант кафедры «ОМД». E-mail: Ilya.Latushkin@arconic.com
Яшин Василий Владимирович, аспирант кафедры «ОМД». E-mail: Vasiliy.yashin@arconic.com

штампов позволит обеспечить низкую себестоимость продукции и высокое качество изделия.

Геометрия и технологические размеры крутоизогнутых отводов представлены на рис. 1.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И КОНСТРУКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ОСНАСТКИ

Разработанная технология позволяет снизить себестоимость изделия на 15 – 20%. Это достигается за счет интенсификации технологического процесса, использования универсального оборудования вместо специализированного и жесткой инструментальной оснастки.

Технология производства отводов включает следующие операции:

Первый комплекс операций: Резка заготовки в меру; Резка выходного торца; Резка торца передающего усилие; Резка площадки под толкатель; Зачистка торцев;

Второй комплекс операций: Обезжиривание; Лакировка (Первый слой); Сушка в печи при температуре 30-40 градусов 5-10 минут; Лакировка (Второй слой); Сушка; Покрытие смазкой (покрытие смазкой осуществляется непосредственно перед штамповкой. Смазка: мыльный раствор-графит. Коэффициент трения - 0,7.)

Третий комплекс операций: Штамповка в инструментальном штампе на универсальном оборудовании. Должна соблюдаться следующая последовательность: установка детали в штампе; обжатие полуматрицами с фиксацией обжимными болтами; штамповка; развенчивание полуматриц; поворот эксцентрика; снятие отштампованного изделия с оправки;

Четвертый комплекс операций: Отчистка полученного изделия от лака и смазки; Обрезка торцев (осуществляется в дисковых пилах при помощи обрезной матрицы); Зачистка торцев; Механическая полировка обработка поверхности детали.

Условное обозначение и геометрические размеры	Условный диаметр прохода, мм D_y	Наружный диаметр, мм D_n	Толщина стенки, мм s	Радиус гiba, мм $R_{г.ср.}$	Угол гiba, градусы ϕ^0
	36	38	0,8...1,5	57	15 30 45 60 75 90
	42	44	0,8...1	66	
	50	53	0,8...1,5	70	
	63	66	0,8...1,5	99	
	70	76	1...2	114	
	76	79	1...3	118	
	80	84	1,5...2,5	126	

Рис. 1. Номенклатура изделия «Отвод крутоизогнутый»

Конструкция опытно-промышленного штампа проектировалась с учетом результатов предварительного эксперимента проведенного на экспериментальном штампе. Штамповая оснастка спроектирована для изготовления отвода с относительным радиусом кривизны $R_{отн} = 1,5$ при толщине стенки исходной трубной заготовки $S = 3$ мм и диаметра $D_n = 79$. Общий вид штампа представлен на рис. 2.

Опытно-промышленный штамп состоит из нижней плиты (8) к которой при помощи опоры ходовых винтов (7) крепятся ходовые винты (4). К винтам при помощи фиксаторов крепятся разъемные полуматрицы (5) и составные части наружной направляющей втулки (2). Полуматрицы (5) имеют возможность перемещаться. Направление перемещение осуществляется при помощи задней и передней направляющей. В передней направляющей размещается жесткая

составная оправка (6). Нижняя часть оправки жестко закреплена, верхняя имеет возможность вращаться на эксцентрике (9). Эксцентрик (9) и внутренняя направляющая втулка (3) одновременно является нижним замком и верхним замком, фиксирующим в рабочем положении составную оправку.

Эксцентриком (9) оправка устанавливается в рабочее положение. На внутреннюю направляющую втулку (3) насаживается заготовка. При вращении ходовых винтов (4) осуществляется перемещение разъемных матриц (5) до смыкания, приводящее к упругому обжатию заготовки. На торец заготовки устанавливается нажимной пуансон (1). При включении прессы осуществляется перемещение нажимной пуансон (1), т.е. передача деформирующего усилия от прессы в торец заготовки. Нажимной пуансон (1) проталкивает заготовку на заданный угол. Про-

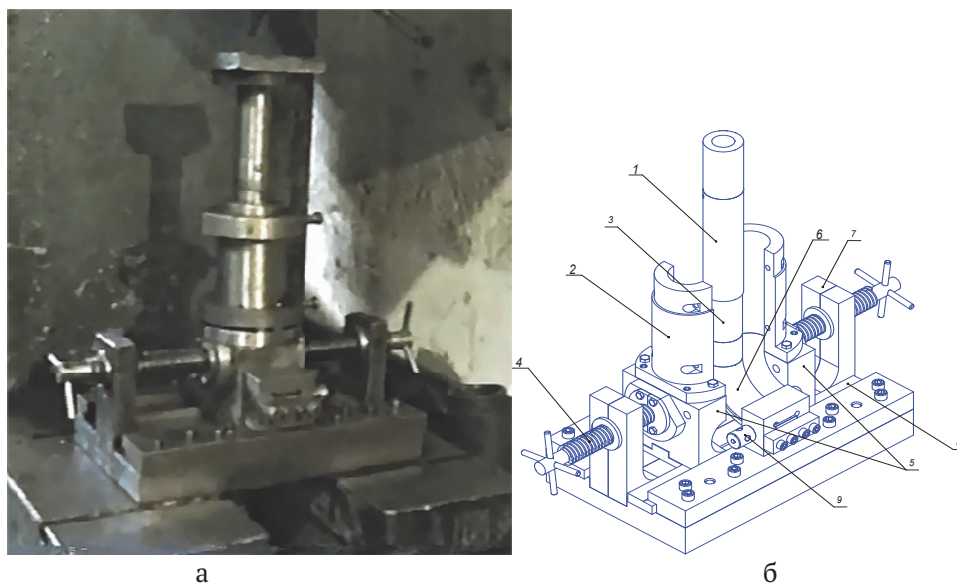


Рис. 2. Опытно-промышленный штамп для формообразования тонкостенных крутоизогнутых отводов:

- 1 – нажимной пуансон; 2 – наружная направляющая втулка; 3 – внутренняя направляющая втулка;
- 4 – ходовые винты; 5 – разъемные полуматрицы; 6 – внутренняя жесткая оправка;
- 7 – опоры ходовых винтов; 8 – основание штампа; 9 – эксцентрик.

а – внешний вид штамповой оснастки,
б – трехмерная модель штамповой оснастки выполненная с применением системы «КОМПАС»

цесс завершается при образовании достаточных припусков на обрезку. После завершения процесса ходовые винты раскручиваются и раскрывают разъемные полуматрицы. Верхний замок удаляется. Эксцентрик поворачивается, уменьшая поперечное сечение жесткой оправки, после чего заготовка беспрепятственно извлекается из штампа.

При реализации новой технологии необходимо выполнение ряда технологических расчетов. Такой комплекс расчетов складывается в методику проектирования технологического процесса для реализации которой необходимы аналитические зависимости, позволяющие определять технологические параметры для изделий различной номенклатуры (см. рис. 1).

Для изготовления крутоизогнутых отводов необходимо выполнить расчет следующих технологических параметров: формы и размеров заготовки; силовых параметров процесса; определить предельные возможности штамповки.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА РАЗМЕРА ЗАГОТОВКИ

Результаты, полученные при анализе напряженно-деформированного состояния с помощью конечно-элементного комплекса ANSYS/LS-DYNA, позволили установить ряд допущения, положенных в основу для вывода аналитической зависимости при определении технологических параметров. Применен метод совместного решения уравнений равновесия и условия пластичности.

Для определения размеров заготовки использовано условие постоянства длин образующих. Форма заготовки и значение поправочных коэффициентов для расчета в зависимости от материала детали представлена на рисунке 3.

Расчет размеров заготовки производили по следующим формулам:

$L_{max}^* = (1 - K_{max}) L_{max}$ – длина заготовки, соответствует длине максимальной образующей заготовка с учетом поправочного коэффициента, где L_{max} – длина заготовки, рассчитанная из условия постоянства длин образующих.

$$\xi_{u}^* = \arctg \frac{Tu^* Ku}{D_3 - e} - \text{угол скоса заготовки}$$

со стороны передающего усилия торца с учетом поправочного коэффициента;

$$\xi_{v}^* = \arctg \frac{Tv^* Kv}{D_3} - \text{угол скоса заготовки}$$

со стороны выходного торца с учетом поправочного коэффициента, где Tu^* и Tv^* – катеты, противоположные углу скоса заготовки со стороны торца передающего усилия и выходного торца соответственно.

Диаметр заготовки – D_3 и толщина – s соответствует диаметру и толщине трубы, из которой изготавливается заготовка.

Размеры контактной поверхности приложения усилия (Fe и e) определяются из условия равенства усилий, одно из которых приложено к торцу заготовки, а другое образовано силами трения по поверхности контакта заготовки с инструментом. При этом суммарная площадь трения равна площади средней поверхности заготовки.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА УСИЛИЯ ПРОЦЕССА

Для определения усилия формообразования определено максимальное меридиональное напряжение на торце приложения усилия (площадки под толкатель):

$$\sigma_{\rho}^{\max} = -\sigma_s \frac{R_{\rho}}{R_{\theta}} (\exp(-f\alpha) - 1).$$

Площадь торца заготовки для приложения внешнего усилия:

$$F_e = \frac{f\pi^2 s D_3}{2}.$$

Высота дуги, ограничивающая площадь торца заготовки:

$$e = R_{\theta} \left(1 - \cos \frac{\theta_{cp}}{2} \right),$$

где θ_{cp} – угол, ограничивающий величину скоса.

Для расчета усилия необходимо учесть упрочнение. Упрочнение учтем линейной зави-

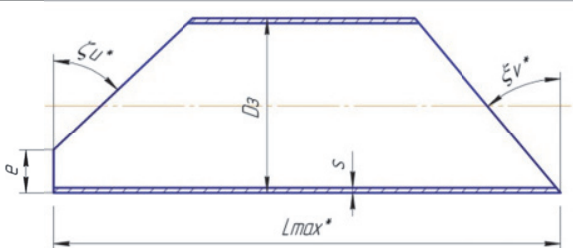
Форма заготовки	Значение поправочных коэффициентов			
	Материал	K_{max}	K_u	K_v
	12X18H10T	0,055	1.1.	0.64
	OT4	0.04	1.32	0.52
	AMг6М	0,05	1.21	0.56

Рис. 3. Форма заготовки и значение поправочных коэффициентов для расчета размеров заготовки в зависимости от материала детали

симостью. В качестве интенсивности деформаций примем деформацию сдвига. Деформация сдвига определяется из геометрических соотношений, по размерам исходной заготовки и готовой детали, когда торцы детали приняли форму сечения в виде кольца.

Таким образом, усилие, необходимое для проталкивания заготовки в гарантированный зазор жесткой инструментальной оснастки определяется следующей зависимостью:

$$P_{прот} = \frac{\pi^2 f^2 (\sigma_{ТО} + П\gamma) s D_s \alpha R_p}{2R_\theta},$$

где γ – интенсивность деформаций; f – коэффициент трения; α – угол формообразования; R_p – радиус кривизны детали; R_θ – радиус детали.

В табл. 1 приведены значения теоретического усилия процесса формообразования в сравнении с установленным максимальным экспериментальным значением для различных материалов.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛЬНОЙ СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ

Для определения предельной степени деформации выбран критерий Томленова. Считая, согласно предварительному анализу в ANSYS/LS-DYNA, что наибольшее значение интенсивности деформаций имеет место на кромке в области минимального радиуса формообразования, при условии, что схема напряженно-деформированного состояния близка к линейной, за интенсивность деформаций принята макси-

мальная деформация тангенциального растяжения, а за интенсивность напряжений тангенциальное напряжение растяжения. Таким образом, величина деформации на торце равна величине тангенциальной деформации элемента и определена аналитической зависимостью:

$$E_\theta = \frac{\sigma_{ТО}}{\Pi} \left(\exp \left(f \left(\frac{2\Pi}{\sigma_{ТО}f} \operatorname{Ln} \left(\frac{\pi(1,5(a+b)-\sqrt{ab})}{2\pi R_\theta} \right) \right) \right) - 1 \right),$$

где a, b – полуоси эллипса, образованного в результате скоса торца;

при $E_\theta^{\max} = E_\theta \leq \delta p$ – разрушения не наблюдается;

при $E_\theta^{\max} = E_\theta \geq \delta p$ – наблюдается разрушение в виде разрыва кромки.

В табл. 2 приведены результаты предельной штамповка отводов из различных материалов.

ВЫВОДЫ

1. Представлена разработанная технология и изготовленная штамповая оснастка для формообразования крутоизогнутых отводов на универсальном оборудовании. Данный подход к изготовлению отводов снижает себестоимость изделия на 15 – 20 % за счет интенсификации технологического процесса, использования универсального оборудования и жесткой инструментальной оснастки.

2. Показаны выведенные зависимости для расчета технологических параметров: размеры заготовки, усилие процесса, предельные параметры процесса. Полученные теоретические зависимости показали хорошую сходимость с результатами экспериментальными исследований.

Таблица 1. Сравнение теоретического и экспериментального усилия формообразования

Марка материала	Теоретическое усилие штамповки, т	Максимальное экспериментальное усилие штамповки, т
12X18H10T	8,86	7,2
ОТ4	12,1	6,3 (Разрушается при формообразовании)
АМг6М	11,3	5,1 (Разрушается при формообразовании)

Таблица 2. Значения предельных параметров штамповки

Марка материала	Рассчитанное значение тангенциальной деформации - E_θ , %	Относительное удлинение при испытаниях на растяжение - δp , %	Оценка разрушения при штамповке
12X18H10T	43	52	$E_\theta < \delta p$ - штамповка без разрушения
ОТ4	23	8	$E_\theta > \delta p$ - наблюдается разрушение торца
АМг6М	31	20	

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов И.П., Маслов В.Д., Николенко К.А., Брусин В.Д., Михеев В.А., Хритин А.А. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов: Пат. RU 2294807 С1 (РФ). 2007.
2. Маслов В.Д., Николенко К.А., Николенко К.А., Мисюра В.Д. Устройство для формообразования крутоизогнутых отводов: Пат. RU 130241 U1 (РФ). 2013.
3. Маслов В.Д., Николенко К.А., Мисюра В.Д. Об изготовлении тонкостенных крутоизогнутых отводов из коррозионностойкой стали // Арматуростроение. 2014. № 1. С. 44-52.
4. 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.

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FORMING PROCESS OF PRODUCTION STEEPLY CURVED PIPE

© 2017 I.P. Popov, Kir.A. Nikolenko, Kon.A. Nikolenko, I.A. Latushkin, V.V. Yashin

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

Analytical dependencies for the calculation of the stamping process of steeply bent taps from various materials. The technology of manufacturing of steeply bent taps is described. The design of a stamp is developed.

Keywords: technology, technological parameters, die tooling, steeply curved pipe, workpiece dimensions, effort of the process, process limits.

Igor Popov, Professor of Technics, Associate Professor at the Plastic Working of Metal Department.

E-mail: igr_popov@mail.ru

Kirill Nikolenko, Graduate Student at the Plastic Working of Metal Department. E-mail: Nik_Kin_86@mail.ru

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

E-mail: Nik_Kin_79@mail.ru

Ilya Latushkin, Graduate Student at the Plastic Working of Metal Department. E-mail: Ilya.Latushkin@arconic.com

Vasiliy Yashin, Graduate Student at the Plastic Working of Metal Department. E-mail: Vasiliy.yashin@arconic.com