

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ОГРАНИЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ОБЖИМА КОНИЧЕСКИМИ МАТРИЦАМИ ЗАГОТОВОК ИЗ ТОЛСТОСТЕННЫХ ТРУБ

Представлены результаты экспериментального изучения формоизменения толстостенных полых изделий, обжатых коническими матрицами. Установлено влияние характеристик инструмента и размеров заготовок на технологические возможности обжима. Количественная оценка выполнена в виде графиков, позволяющих прогнозировать более точно окончательную конфигурацию и размеры штампованного изделия.

Ключевые слова: обжим, коническая матрица, толстостенная труба, напуск, технологические возможности.

Заготовительная стадия получения изделий металлообработки в машиностроении, станкостроении, приборостроении и т.д. опирается на объемную штамповку. В свою очередь, в объемной штамповке довольно эффективной операцией является обжим толстостенных трубных заготовок коническими матрицами.

Разработка и анализ различных аспектов реализации технологий, в основе которых лежит обжим, системно осуществляется зарубежными [1, 2] и отечественными [3–6] исследователями на протяжении многих лет. Подробно изучен силовой режим проведения операции, разработаны схемы интенсификации процесса штамповки, определены оптимальные параметры инструмента, обеспечивающие минимальные значения потребной для деформирования энергии, исследованы особенности формоизменения обжатых образцов.

Тем не менее следует подчеркнуть, что говорить о всесторонности и полноте сведений о формоизменении и силовом режиме при обжиге толстостенных заготовок преждевременно. В то же время актуальным является расширение границ технологических возможностей данной операции.

В свою очередь, ограничение технологических возможностей обжима, например, связано с прогнозированием окончательной конфигурации и размеров на этапе конструирования изделия, штампованного из толстостенной трубной заготовки. Причиной является то обстоятельство, что при обжиге деформирующий инструмент не полностью определяет форму изделия. Свободное истечение металла внутренней поверхности заготовки приводит к неопределенности по окончательной толщине стенки как обжатой,

так и необжимаемой зон изделия; окончательная длина после обжима достаточно произвольна; концевой участок обжатой цилиндрической части приобретает свою особенную форму, так же не вполне контролируемую деформирующим инструментом — матрицей [7].

Рекомендации для расчета размеров изделия с указанными отклонениями от идеальной формы, представленные в [4, 6, 7, 8] графиками зависимости параметров деформации от характеристик инструмента ($K_{об}$ — коэффициент обжима, α — угол воронки матрицы) и исходных заготовок (S_0/D — относительная толщина стенки заготовки), позволяют существенно уточнить конечное формоизменение обжатого изделия.

В то же время был при изучении и обмерах обжатых образцов выявлен еще ряд обстоятельств для дальнейшего анализа и оценки особенностей формоизменения при деформировании толстостенных трубных заготовок в конических матрицах.

Традиционно принято представлять обжатую в конусной матрице часть изделия, вышедшую из конуса, цилиндрической формы (рис. 1а). Это представление соответствует полностью практике обжима тонкостенных ($S_0/D < 0,1$) заготовок. Но в случае деформирования толстостенных заготовок ($S_0/D > 0,1$) это не всегда имеет место, что подтверждают достаточно точные измерения значительного количества обжатых в экспериментах образцов (табл. 1).

Было установлено, что при определенных параметрах инструмента и исходных заготовок обжатая часть, вышедшая из конуса матрицы, приобретает форму наподобие конической. При этом реальная форма образцов после деформирования выглядит согласно рис. 1б.

Размеры обжатых образцов
и соответствующие параметры обжима

№ заготовки	α , град.	S_0/D	$K_{об}$	$d=d_m$, мм	d' , мм	d'_1 , мм	$d_{1'}$, мм
2	20	0,15	1,25	30,4	29,95	18,70	17,90
6	20	0,18	1,40	27,1	26,80	11,15	10,95
8	20	0,15	1,30	29,2	28,75	16,70	15,55
20	20	0,18	1,25	30,4	30,05	15,15	14,50
25	20	0,18	1,30	29,2	28,85	14,30	13,35
33	20	0,12	1,25	30,4	29,85	20,95	20,55
35	20	0,12	1,30	29,2	28,65	19,35	18,60
115	20	0,12	1,40	27,1	26,65	16,80	15,60
118	20	0,15	1,40	27,1	26,70	14,30	12,80
13	30	0,12	1,20	29,2	28,20	17,60	16,60
1	30	0,15	1,20	31,7	30,85	19,40	18,60
19	30	0,15	1,30	29,2	28,60	16,25	15,60
21	30	0,18	1,30	29,2	28,50	13,80	12,10
22	30	0,18	1,20	31,7	30,90	16,05	15,85
44	30	0,12	1,40	27,1	26,70	20,35	19,10
57	30	0,18	1,40	27,1	25,05	11,15	10,80
59	30	0,15	1,40	27,1	24,90	11,65	11,00
60	30	0,12	1,20	31,7	30,75	21,35	21,00
27	40	0,18	1,25	30,4	29,45	14,80	13,95
28	40	0,18	1,40	27,1	26,50	11,15	10,60
50	40	0,15	1,40	27,1	26,40	13,40	12,75
49	40	0,12	1,30	29,2	27,85	17,65	16,90
78	40	0,12	1,40	27,1	26,10	17,00	16,65
80	40	0,12	1,25	30,4	29,05	19,95	19,40
83	40	0,18	1,30	29,2	28,30	13,85	12,20
111	40	0,15	1,30	29,2	28,45	15,00	14,55
112	40	0,15	1,25	30,4	29,25	17,40	16,55
17	50	0,15	1,20	31,7	30,25	17,90	17,20
18	50	0,18	1,30	29,2	28,25	16,40	14,80
26	50	0,18	1,25	30,4	29,40	13,70	12,80
34	50	0,15	1,25	30,4	29,05	17,00	15,65
36	50	0,12	1,25	30,4	28,75	19,10	18,45
37	50	0,18	1,20	31,7	30,45	15,80	14,35
43	50	0,15	1,40	27,1	26,30	14,20	13,60
64	50	0,12	1,30	29,2	28,05	17,35	16,80
116	50	0,15	1,30	29,2	28,25	15,20	14,75
200	50	0,12	1,20	31,7	29,95	19,95	19,40

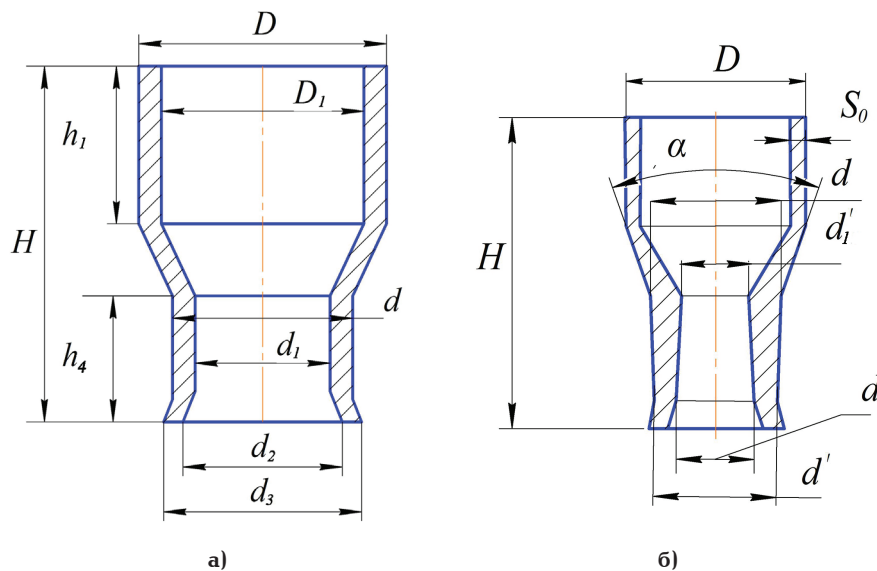


Рис. 1. Форма обжатого образца:
 а — с цилиндрическим обжатым участком;
 б — с обжатым участком в виде конуса

Причину такого формоизменения можно объяснить следующим.

Как ранее показано [9], при выходе обжатого конца за пределы конусной воронки матрицы с произвольным радиусом выходного отверстия происходит разворот концевой обжатой части и формирование цилиндрического участка вне контакта с поверхностью матрицы, из-за чего поперечный размер изделия в этом месте получается меньше, чем диаметр выходного отверстия матрицы. Дальнейшее формирование цилиндрического обжатого участка у тонкостенных изделий протекает при постоянном его диаметре, а у толстостенных, как оказалось, — с постепенным увеличением до размера близкого или равного диаметру выходного отверстия матрицы.

В таком случае это увеличение можно отнести лишь за счет возрастания величины момента, разворачивающего каждый последующий участок, выходящий из конуса матрицы. Тогда постоянно возрастающий момент заставляет этот каждый участок совершать разворот все ближе к поверхности (радиусному участку) матрицы.

Данное возрастание момента, в свою очередь, объяснимо тем, что в очаге деформации — конусном участке обжимаемой заготовки, постоянно увеличивается толщина стенки. Косвенным подтверждением увеличивающегося потребного момента разворота может служить график зависимости «усилие — путь» при обжиге толстостенных заготовок. Если на графиках, описывающих силовой режим обжима тонкостенных заготовок, участку выхода обжатого конца из матрицы и формированию цилиндрической части соответствует уменьшение усилия деформирования [10], то на подобных графиках для толстостенных заготовок это снижение отсутствует, а в ряде случаев усилие обжима возрастает на всем протяжении выполнения операции вплоть до момента ее прекращения [4].

Выявленную неравномерность диаметра обжатого на цилиндр участка следует принимать

в расчет, разрабатывая рабочий чертеж поковки, штампованной обжимом. Учет показанной неравномерности обжатого диаметра должен осуществляться через дополнительные напуски, о величине которых необходимо иметь представление.

Таким образом, возникают задачи:

— экспериментальное определение численной характеристики конусности обжатого участка изделия;

— установление системной зависимости показателей конусности обжатого участка от параметров обжима $K_{об}$, α и S_0/D .

Абсолютные значения разности максимального (d) и минимального (d') значений наружного диаметра обжатого участка можно определить из табл. 1. Там же представлены значения диаметров внутренней поверхности (d'_1 — максимальное, d_1 — минимальное). При этом уточним, что значения d фактически оказались равными соответствующим диаметрам выходных отверстий обжимных матриц d_m .

Из табл. 1 видно, что разница в диаметрах как по наружной поверхности, так и внутренней составляет для исследованных образцов от 0,3 мм до 1,75 мм.

Причем для наружных размеров удалось проследить наличие вполне очевидных зависимостей изменения диаметра от параметров инструмента и исходных заготовок. Эти зависимости представлены графиками (рис. 2–5), где за параметр изменения обжатого наружного диаметра взята относительная величина $(d_m - d')/d_m$. Такое представление, по нашему мнению, позволит распространить полученные результаты на случаи деформирования заготовок иных размеров с аналогичными относительными характеристиками ($K_{об}$, α и S_0/D).

На графиках символы точек обозначают: \circ — $S_0/D = 0,12$; \square — $S_0/D = 0,15$; \times — $S_0/D = 0,18$.

Анализ графиков показывает, что исследуемый параметр $(d_m - d')/d_m$ практически прямо

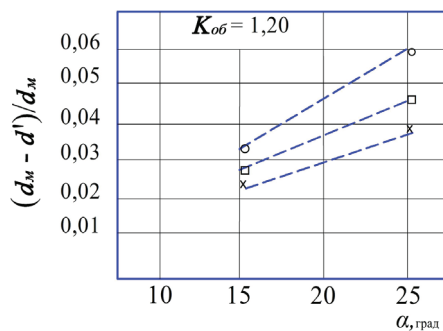


Рис. 2

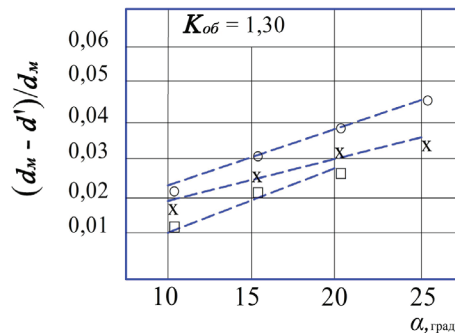


Рис. 4

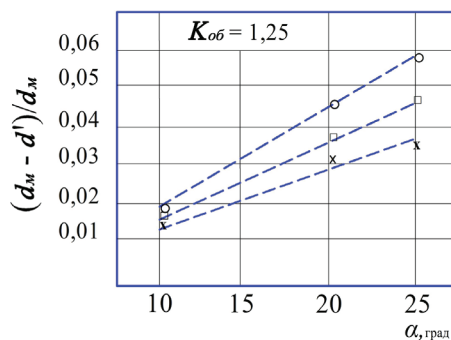


Рис. 3

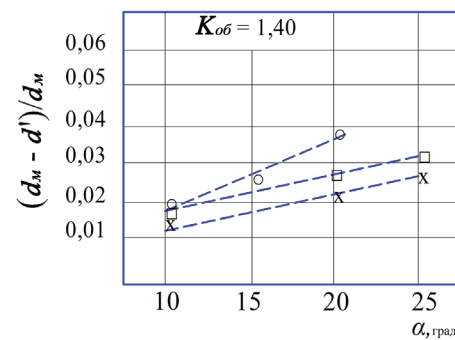


Рис. 5

пропорционально изменяется с изменением $K_{об}$, α и S_0/D .

Очевидно, что чем больше угол воронки матрицы, тем больше разница в значениях диаметра. Объяснение достаточно просто: при сходе с более «крутой» с точки зрения конусности поверхности деформирующее усилие заставляет обжимаемый край продвигаться дальше от поверхности матрицы в соответствии с естественной траекторией перемещения деформируемого металла. Тогда и разворот края происходит в более отдаленной точке от поверхности инструмента, тем самым заставляя край образца оформить с меньшим диаметром.

Графики также показывают, что чем меньше относительная толщина стенки исходной заготовки, тем больше разница в диаметрах обжатой части. Следовательно, образцы с меньшей толщиной стенки подвержены большему искажению обжатого участка.

С другой стороны, с увеличением коэффициента обжима (при прочих равных условиях) параметр $(d_m - d')/d_m$ принимает меньшие значения. Т.е. обжатый участок приобретает более равномерную форму и нуждается в напуске меньшей величины.

При этом характер линий на графике для $K_{об} = 1,25$ (рис. 3) таков, что соответствует максимальной интенсивности роста $(d_m - d')/d_m$.

Изменение внутреннего диаметра обжатой части образцов не подчиняется достаточно простым зависимостям от принятых параметров штамповки, поэтому не представлено в форме графиков. Для реализации задачи в такой постановке в дальнейшем будут выполнены дополнительные экспериментальные работы с более широким представлением соотношения размеров деформирующего инструмента и заготовок.

В данной ситуации можно все же рекомендовать при назначении напусков на внутренний контур проектируемого штампованного изделия ориентироваться на абсолютные значения из табл. 1. То есть в качестве задаваемого на изделие напуска следует принимать величину, равную разности максимального и минимального диаметров внутренней поверхности обжатого участка при соответствующих $K_{об}$, α и S_0/D . Такой подход в конечном итоге обеспечит при последующей механической обработке изделия с дополнительными напусками избежать брака в виде «черновин», отклонения от цилиндричности, несоосности, радиального биения внутреннего контура и тому подобное.

Таким образом, представляемые результаты вполне определенно оценивают еще один фактор ограничения технологических возможностей обжима коническими матрицами заготовок из толстостенных труб и в совокупности с ранее опубликованными данными [4, 6, 7, 8] позволят с достаточной для практического применения точностью прогнозировать реальную форму обжатых толстостенных изделий, деформированных при соблюдении указанных в данной работе параметров заготовок и инструмента.

Библиографический список

- Haarsheidt K. Das Verjungen von Hohlkorpern // Blech, Rohre, Profile. 1982. 29. № 2. S. 63–67.
- Haarsheidt K. Hinweise zur Anwendung des Verjungen (Einhalsens) von dickwandigen zylindrischen Hohlkorpern // Draht. 1982. 33. № 5. S. 262–265.
- Сосенушкин Е. Н., Артес А. Э., Яновская Е. А. [и др.]. Трубные заготовки: технологический аспект задачи и обжима // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 4 (12). С. 36–40.

4. Коновалов В. А. Формоизменение и силовой режим при обжиге толстостенных трубных заготовок: моногр. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. 112 с.
5. Митин О. Н., Яковлев С. С. Компьютерное моделирование совмещения операций обжима, обжима с утонением и обратного выдавливания толстостенных трубных заготовок // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2015. № 10. С. 14–20.
6. Коновалов В. А., Нельднер В. И., Устинов Д. А. Влияние параметров инструмента на формоизменение трубной заготовки с относительно толстой стенкой при холодном обжиге конической матрицей // Омский научный вестник. 2012. № 2 (110). С. 86–89.
7. Коновалов В. А., Савельев К. Д., Васильев Е. Д. [и др.]. Особенности формоизменения краевой зоны цилиндрического участка полых образцов с относительно толстой стенкой, обжатых в конической матрице // Омский научный вестник. 2014. № 2 (130). С. 68–72.
8. Коновалов В. А., Глухарев А. С., Гречушников А. И. Оценка параметров формоизменения толстостенных трубных образцов, обжатых коническими матрицами при отсутствии радиальной деформации внутренней поверхности необжимаемой части заготовки // Омский научный вестник. 2015. № 2 (140). С. 55–57.
9. Аверкиев Ю. А., Аверкиев А. Ю. Технология холодной штамповки. М.: Машиностроение, 1989. 304 с.
10. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1968. 283 с.

КОНОВАЛОВ Валерий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроение и материаловедение».

AuthorID (РИНЦ): 684448

ЧУГУНОВА Юлия Анатольевна, студентка гр. М-152 машиностроительного института.
Адрес для переписки: mitomd55@mail.ru

Для цитирования

Коновалов В. А., Чугунова Ю. А. Оценка факторов ограничения технологических возможностей обжима коническими матрицами заготовок из толстостенных труб // Омский научный вестник. 2019. № 3 (165). С. 11–15. DOI: 10.25206/1813-8225-2019-165-11-15.

Статья поступила в редакцию 19.04.2019 г.

© В. А. Коновалов, Ю. А. Чугунова