

УДК 621.983

Митичкина Н. Г.  
Бут А. Ю.

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ТРОЙНИКОВ ЭЛАСТИЧНОЙ СРЕДОЙ

Тройники – соединительные элементы трубопроводов и трубопроводных систем с тремя присоединительными концами. Они позволяют продолжать трубопровод в различных нужных направлениях, отличных от направления ведущей трубы. Эти детали находят широкое применение практически во всех отраслях народного хозяйства, особенно в судостроении, самолётостроении, ЖКХ и нефтегазовой промышленности. Постоянно расширяется их номенклатура, повышаются требования к их качеству, поэтому важной задачей является интенсификация технологических процессов изготовления данных деталей.

Тройники трубопроводных систем бывают литыми, горячештампованными, сварными и цельноштампованными. Из них наибольшее распространение получили сварные и цельноштампованные тройники.

Сварные получают, сваривая между собой предварительно подготовленные части тройника [1]. Основным их недостатком является ограниченная область применения из-за наличия сварного шва. Один из примеров сварного тройника приведен на рис. 1.

Цельноштампованные тройники являются более прочными и качественными, чем сварные. Для их получения применяются две основные схемы. Первая включает пробивку отверстия в стенке трубной заготовки и его отбортовку, например, как на рис. 2 [2].

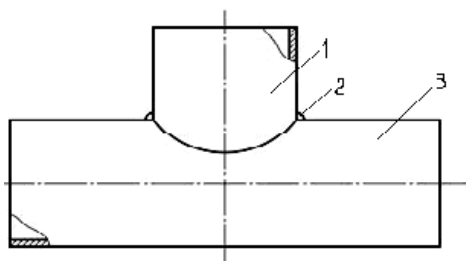


Рис. 1. Эскиз сварного тройника:

1 – отвод; 2 – сварной шов;  
3 – труба

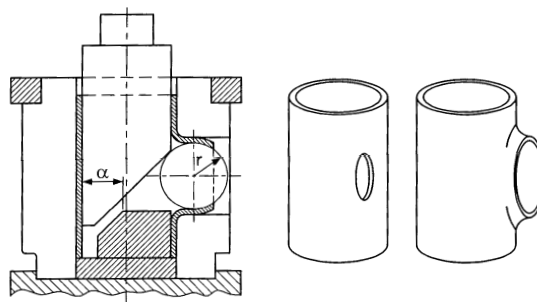


Рис. 2. Схема получения тройника с пробивкой

отверстия в стенке трубы и последующей его отбортовкой

Вторая, более распространённая, предусматривает формирование цилиндрического отвода на стенке трубы с последующей отрезкой его дна (рис. 3 и т. п.).

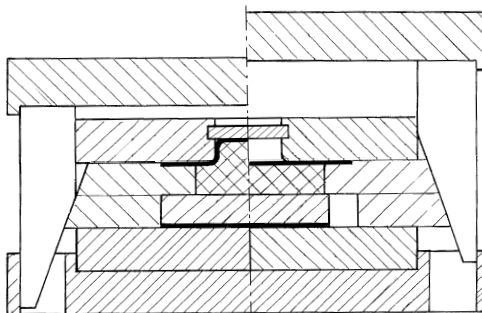


Рис. 3. Схема получения тройника с формированием отвода внутренним давлением эластичного наполнителя

Эта схема более предпочтительна, так как за счёт использования вытяжки позволяет получать отводы большей высоты, чем при отбортовке. Обычно она осуществляется с применением внутреннего давления на заготовку жидкости или эластичного наполнителя [3–8].

Недостатками обеих схем являются низкая производительность и высокая трудоёмкость, так как получение готового тройника происходит за два технологических перехода.

Целью работы является разработка способа повышения производительности процесса формообразования тройников за счёт сокращения числа технологических переходов путём совмещения операций формирования отвода и оформления его торца без снижения высоты отвода.

Предложен новый способ изготовления данной детали, который позволяет получать готовый тройник за один технологический переход, и устройство для его осуществления.

Для практической апробации данного способа был сконструирован и изготовлен специальный экспериментальный штамп и в лабораторных условиях проведена серия экспериментов. Принципиальная схема этого штампа приведена на рис. 4.

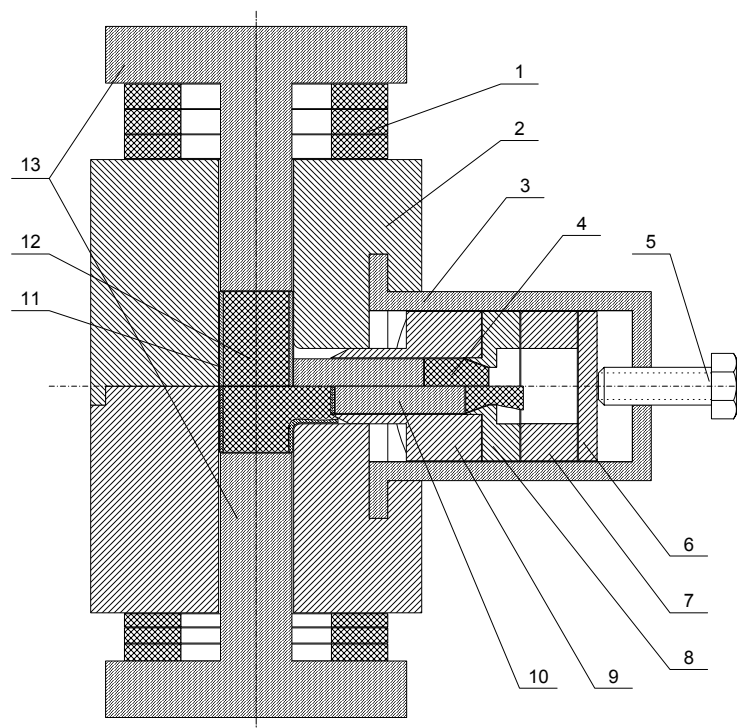


Рис. 4. Принципиальная схема экспериментального штампа для получения тройников за один технологический переход

Штамп работает следующим образом. Выбранная заготовка 11 определённой длины заполняется эластичным пуансоном 12 и устанавливается в разъемной матрице 2. Нажимные пуансоны 13 выставляются в нужном положении при помощи наборных резиновых буферов 1 требуемой высоты, которые, контактируя с заготовкой, определяют исходное место её расположения относительно центра штампа.

Отличительной особенностью предложенного штампа является система торцевого подпора дна формируемого отвода, размещённая в специальном контейнере 3. Она устанавливается на необходимом расстоянии от заготовки при помощи болта 5 и опорной плашки 6.

При воздействии нажимных пуансонов на заготовку давление эластичного наполнителя внутри неё увеличивается и в полости матрицы начинается формирование отвода. При этом для оптимизации напряжённо-деформированного состояния металла в очаге деформации и теле отвода на его торец давит передвижной подпор 10, усилие которого определяется расчётными параметрами процесса истечения эластичного бужа 4 сквозь фильеру 8 в полость, образованную цилиндром 7. По мере увеличения высоты отвода подпор перемещается вглубь контейнера.

При достижении отводом необходимой высоты его торец сталкивается с жёстко установленным пробивным элементом 9. Режущая кромка пробивного элемента внедряется на расчётную глубину в торец и пробивает в нём отверстие.

Объём эластичного наполнителя в полости отвода продолжает увеличиваться и начинает заполнять пространство вокруг конической рабочей поверхности пробивного элемента, производя при этом отбортовку кромки пробитого отверстия. Таким образом завершается формирование стенки полученного отвода.

Напряжённо-деформированное состояние заготовки в процессе формообразования отвода в общем случае может быть описано, как это представлено в [4] (рис. 5). Здесь ось  $z$  совпадает с осью симметрии заготовки, а ось вспомогательной системы  $z'$  – с осью отвода.

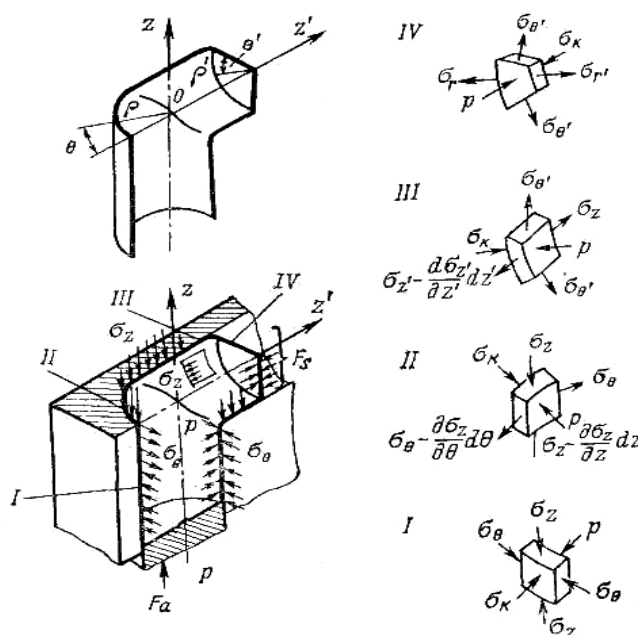


Рис. 5. Напряжённо-деформированное состояние материала при штамповке эластичной средой с осевым сжатием полый заготовки

Обозначим осевые, тангенциальные и радиальные компоненты нормальных напряжений и деформаций на основной трубе через  $\sigma_z$ ,  $\sigma_\theta$ ,  $\sigma_r$  и  $\varepsilon_z$ ,  $\varepsilon_\theta$ ,  $\varepsilon_r$  а на отводе через  $\sigma'_z$ ,  $\sigma'_\theta$ ,  $\sigma'_r$  и  $\varepsilon'_z$ ,  $\varepsilon'_\theta$ ,  $\varepsilon'_r$ . Радиальные напряжения  $\sigma_r$  и  $\sigma'_r$  на внутренней поверхности деформируемой заготовки определяются давлением  $p$ , а на наружной поверхности – контактными напряжениями  $\sigma'_k$ .

На участке I у торца материал находится в состоянии всестороннего неравномерного объемного сжатия. Тангенциальная деформация  $\varepsilon_\theta$ , обусловленная отклонениями поперечных размеров полости матрицы от размеров трубчатой заготовки, весьма незначительна, вследствие чего можно полагать  $\varepsilon_\theta = 0$ , а деформированное состояние заготовки на данном участке считать плоским. Происходит осевая осадка заготовки (деформация сжатия  $\varepsilon_z$ ) и утолщение стенки  $\varepsilon_r$ .

Напряжения сжатия  $\sigma_z$ , и  $\sigma_r$  действуют и на участке II, противоположном отводу. Тангенциальные напряжения  $\sigma_\theta$  на этом участке растягивающие. Наблюдается пластическое течение материала в тангенциальном направлении в сторону образующегося отвода (деформация  $\varepsilon_\theta$ ). На участке II продолжаются осевая осадка заготовки (деформация сжатия  $\varepsilon_z$ ) и утолщение  $\varepsilon_r$  стенки, причем наибольшее утолщение происходит именно здесь.

Стенки отвода (участок III) подвержены действию растягивающих осевых  $\sigma'_z$  и тангенциальных  $\sigma'_\theta$  напряжений и радиальных напряжений сжатия  $\sigma'_r$ . Деформированное состояние характеризуется деформациями растяжения  $\varepsilon'_z$  и  $\varepsilon'_\theta$  и сжатия  $\varepsilon'_r$ . Растягивающие напряжения  $\sigma'_z$  на стенке отвода (участок III) могут быть снижены за счет введения подпора вершины отвода некоторым усилием  $F_s$ .

На вершине отвода (участок IV) действуют растягивающие напряжения  $\sigma'_\theta$  и  $\sigma'_z$ , а в случае подпора вершины отвода возникают сжимающие напряжения  $\sigma'_r$ . Наблюдаются деформации растяжения  $\varepsilon'_z$  и  $\varepsilon'_\theta$  и деформация сжатия  $\varepsilon'_r$ . Это приводит к утонению стенки на вершине отвода.

Следует отметить, что на первом этапе исследований нового способа основной целью было сравнение результатов формообразования равнопроходных тройников из трубных заготовок по уже известной и новой схемам. Поэтому конструкция формующего элемента – эластичного пуансона и пуансонов нажимных была выбрана наиболее простой в изготовлении и использовании. Инструмент подобной формы не даёт наилучшие результаты по формообразованию отвода, как отмечено в работе [3], но позволяет в сравнении оценить влияние на параметры процесса разных конструкций торцевого подпора. В частности, в качестве формующего пуансона в данных исследованиях использовался наборной буж из полиуретана: исходная трубная заготовка выбранной начальной длины заполнялась полиуретановыми плашками, внешний диаметр которых соответствовал её внутреннему диаметру. С целью регулирования давления эластичной среды внутри заготовки в процессе деформации некоторые из плашек могут быть не сплошными, а иметь сквозные отверстия определённого расчётного диаметра.

В качестве заготовок в исследованиях использовались трубки из твёрдого алюминия марки АЗ  $\text{Ø}20 \times 1,0$  мм разной начальной длины, которые с целью повышения их пластических характеристик подвергались разупрочняющему отжигу при температуре  $300^\circ\text{C}$ .

Рабочие поверхности штампа, система торцевого подпора и заготовка смазывались полусинтетическим маслом вязкостью 15W-40.

С использованием описанного выше формующего пуансона были проведены две серии экспериментов по формообразованию равнопроходных тройников. Первая – по уже известной схеме, с использованием торцевого подпора диаметром 20 мм, равным диаметру отвода. Средняя высота отводов после формирования  $h_{отв}$  на полученных таким образом тройниках составила 6,7 мм. А с учётом того, что для получения готового тройника дно отвода вместе с радиусами около него  $R_2$  должно быть отрезано, рабочая высота такого тройника составила 4,6 мм (рис. 6, а).

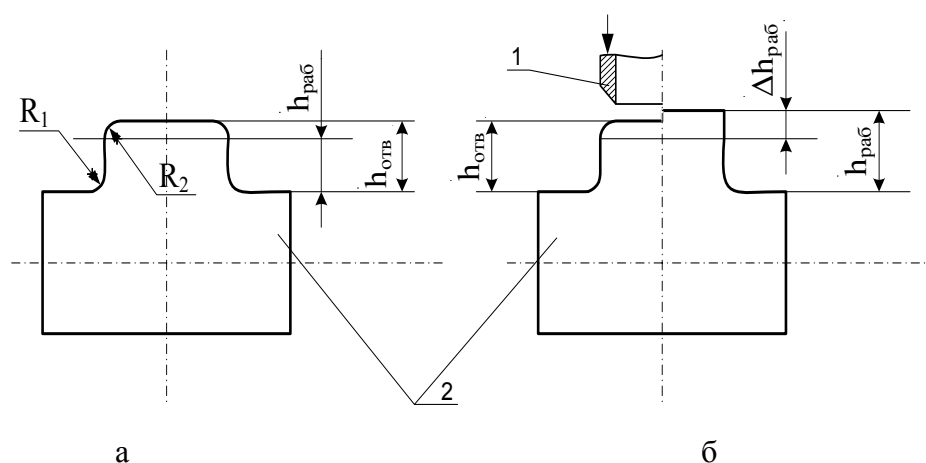


Рис. 6. Схемы формирования торца отвода:

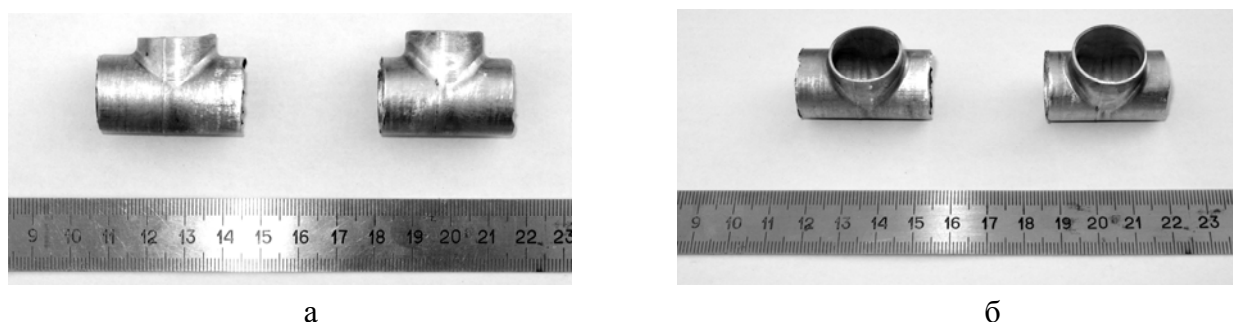
а – известная; б – новая; 1 – пробивной элемент; 2 – тройник

На следующем этапе исследовалось формообразование тройников по новой предложенной схеме – с последовательной вытяжкой отвода, пробивкой его дна и отбортовкой пробитого контура. В данном случае торец готового отвода формируется, как это показано на рис. 6, б. Эксперименты полностью подтвердили предположение о возможности успешной реализации такой схемы при условии поддержания необходимого усилия давления подпора на дно отвода.

Для достижения устойчивого протекания процесса потребовалось путём подбора оптимального места расположения пробивного элемента совместить во времени момент окончания формирования плоского дна отвода с моментом начала его пробивки и при этом не допустить преждевременного разрушения отвода из-за превышения допустимой степени деформации.

Было установлено, что для принятых условий исследований, параметров материалов и инструмента выгодным с точки зрения получения наибольшей высоты отвода является расстояние между стенкой заготовки и пробивным элементом (в начальный момент процесса) на уровне 5,1 мм. Средняя рабочая высота отвода полученных тройников при этом составила 7,1 мм. Следовательно, применение нового предложенного способа формообразования – с оригинальной системой торцевого подпора – при прочих идентичных условиях позволяет увеличить максимальную рабочую высоту отвода  $h_{раб}$  более чем на 35 %. При этом утонение верхней части стенки отвода не превышает 8 % от исходной толщины заготовки.

Образцы полученных деталей представлены на рис. 7.



а

б

Рис. 7. Образцы полученных деталей:

а – вид сбоку; б – вид сверху

С целью изучения особенностей перераспределения металла в процессе деформации некоторые из полученных деталей были разрезаны вдоль оси в продольном направлении. При толщине стенки исходной заготовок  $s_0 = 1$  мм усреднённые значения толщины стенки полученных изделий, замеренные в контрольных точках, представлены на рис. 8.

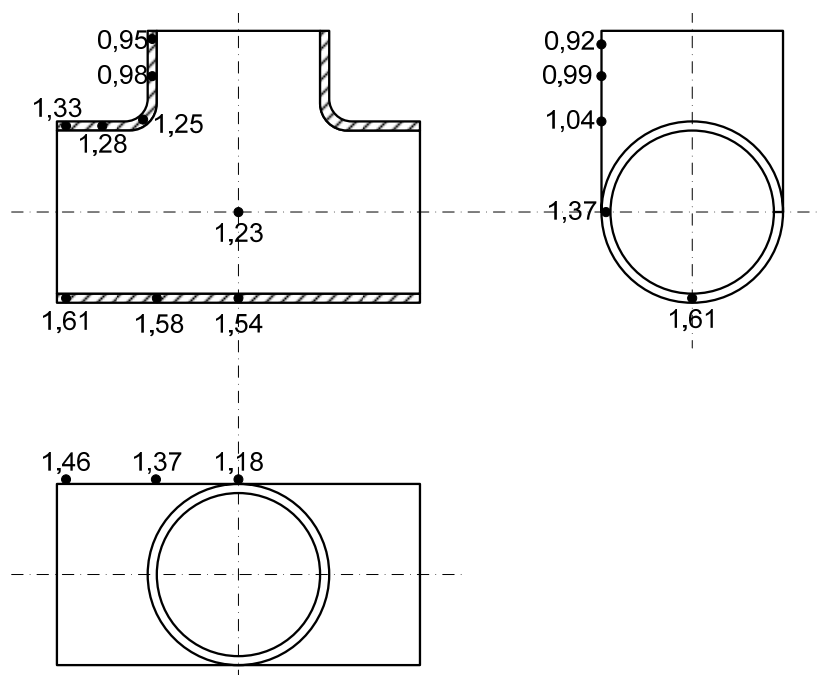


Рис. 8. Усреднённые значения толщины стенки полученных изделий, замеренные в контрольных точках

## ВЫВОДЫ

Предложен новый способ формообразования элементов трубопроводов – тройников внутренним давлением эластичной среды и устройство для его осуществления, которые дают возможность получать готовый тройник за один технологический переход путём совмещения в нём операций формирования отвода и оформления его торца без снижения высоты отвода.

Применение данного способа позволяет:

- 1) увеличить производительность процесса за счёт исключения второго технологического перехода – отрезки дна отвода;
- 2) увеличить максимальную высоту стенки отвода, получаемую за один переход, так как часть поверхности дна отвода после пробивки и отбортовки переходит в его стенку;
- 3) снизить расход металла за счёт уменьшения части дна отвода, идущей в отход.

Одним из способов увеличения длины образующей патрубка, а также снижения разнотолщинности готовой детали является применение заготовок со скошенными кромками [3], поэтому в ближайшее время планируется проведение серии экспериментальных исследований с использованием таких заготовок.

В перспективе развития нового способа формоизменения планируется дальнейшее совершенствование конструкции торцевого подпора, применение в качестве формующего элемента составных жёстко-эластичных пуансонов, исследование возможности формообразования новым способом деталей из других материалов (стали, латуни, дуралюмины и др.) и изучение энергосиловых параметров процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Глизманенко Д. Л. Газовая сварка и резка металлов : учебник для индивид. и бригадной подготовки рабочих на производстве / Д. Л. Глизманенко . – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М., Высш. школа, 1969. – 304 с.
2. Bezeichnung : Verfahren und Vorrichtung zum Ausbilden eines Kragenabschnitts an einem Werkstück. Заявка 10.2004 028 078.9. Германия, МПК В21D 26/02(2006.01), В21D 31/02(2006.01), В21C 37/29(2006.01). – Заявл. 09.06.2004; опубли. 05.01.2006.
3. Эрбейгель С. А. Исследование, разработка и внедрение процессов формообразования унифицированных элементов трубопроводных систем летательных аппаратов эластичной средой на универсальных гидропрессах : дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук / С. А. Эрбейгель . – Харьков, 1986.
4. Гидропластическая обработка металлов / К. Н. Богоявленский, В. А. Вагин, А. Н. Кобышев и др.; пер. с болгарского К. Н. Петкова и Д. И. Чалева; под общ. ред. К. Н. Богоявленского, А. И. Рябинина. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд.-ние; София : Техника, 1988. – 256 с., ил.
5. Пат. 67486, Россия, МПК В21C 37/29 (2006.01). Устройство для формообразования тройников. Заявл. 21.05.2007; опубли. 27.10.2007.
6. Невструев Ю. А. Штамповка тонкостенных неравнопроходных тройников с увеличенной высотой отвода / Ю. А. Невструев // Кузнечно-штамповочное производство. – 2007. – № 6.
7. Марьин С. Б. Изготовление элементов трубопроводов из трубчатых заготовок с применением эластичных и сыпучих сред / С. Б. Марьин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 10.
8. Марьин С. Б. Возможности применения эластичных и сыпучих материалов для изготовления деталей из трубных заготовок / С. Б. Марьин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2009. – № 2.

Митичкина Н. Г. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ;

Бут А. Ю. – магистр, аспирант ДонГТУ.

ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск.

E-mail: Butalexandr@rambler.ru