

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-4-105-115

Гаврилов Р.В., Дуюн Т.А.Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова***E-mail: gavrilov_romvl@edu.bstu.ru*

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ТРОЙНИКОВ ИЗ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК МЕТОДОМ МНОГОПЕРЕХОДНОЙ ШТАМПОВКИ ПРИ БОЛЬШИХ СООТНОШЕНИЯХ ДИАМЕТРОВ

Аннотация. Производство элементов трубопроводной арматуры, таких как тройники и крестовины, – сложный и востребованный технологический процесс, не теряющий свою актуальность на протяжении многих десятилетий. И хотя в настоящее время существует множество вариантов получения таких деталей, включая литьё, листовую гибку со сваркой, прессование и прочие, в промышленности по-прежнему широко применяется штамповка цельных тройников и крестовин из трубных заготовок путём вытяжки или формовки отвода. Это связано с рядом преимуществ, которыми обладают цельноштампованные фитинги: высокое качество и эксплуатационные характеристики, относительная простота изготовления и большая номенклатура типоразмеров.

Целью работы является анализ влияния технологических параметров многопереходной штамповки на формирование горловины с повышенным отношением диаметров (d/D более 0,6) для обеспечения требуемого качества изделия. Объект исследования – процесс многопереходной штамповки при получении горловины диаметром 328 мм из заготовки диаметром 530 мм. Исследование выполнено методом математического моделирования в программном комплексе QForm 11.1.1. В основе исследования лежит типовой технологический процесс изготовления горловины одного из предприятий машиностроительной отрасли Белгородской области. Проанализировано влияние изменения геометрических параметров шарообразных пуансонов в первом переходе и цилиндрических вырезов, образуемых перед вторым переходом, при постоянных температурных режимах, усилиях вытяжки и геометрии конусного пуансона. В ходе математического моделирования получены удовлетворительные параметры отбортованной горловины.

Ключевые слова: многопереходная штамповка, трубная заготовка, тройник, пуансон, горловина, математическое моделирование

Введение. Трубопроводы обеспечивают транспортировку жидкостей и газов и имеют важное значение для ряда отраслей промышленности, таких как энергетическая, строительная, нефтегазовая, химическая и другие. Применяемые в таких системах трубы-коллекторы и отводы служат для соединения и распределения потоков рабочих сред. Трубы-коллекторы используют, как правило, в системах отопления, водоснабжения и вентиляции для равномерного распределения потока и поддержания температуры, что обуславливает надёжную работу сопутствующих устройств: насосов и теплообменников. Отводы предназначены для изменения направления потоков, реализуя возможность сложных конфигураций. Их использование особенно важно в системах, где необходимо поддерживать требуемую скорость потока и минимизировать потери давления.

Целью исследования является изучение возможности применения метода многопереходной штамповки при получении горловин с отношением диаметров более 0,6 и выявление влияния технологических режимов многопереходной

штамповки на формирование параметров качества изготавливаемого изделия.

Многопереходная штамповка представляет собой сложный многоэтапный процесс. Основным достоинством этого метода является высокая точность получаемого изделия. Применение многопереходной штамповки при изготовлении трубопроводных изделий имеет ряд трудностей, основной из которых является утонение стенки. Величина утонения стенки зависит от различных факторов, таких как материал, параметры процесса и геометрия изделия. Свойства исходного материала, такие как прочность и пластичность, оказывают значительное влияние на результаты штамповки, разные сплавы и их термическое состояние могут привести к различным уровням утонения. Скорость штамповки, давление и температура в процессе формовки также влияют на конечные характеристики изделия. Неправильно подобранные параметры могут привести к дефектам, включая утонение или даже разрыв стенки. Сложность формы и размеры заготовки

имеют большое значение. В случае резкого изменения формы, например, в местах изгиба, вероятность утонения увеличивается.

В процессе обработки происходит пластическая деформация заготовки, в результате которой формируется борт по периметру отверстия. Такое отверстие может быть получено путем пробивки или сверления [1]. При этом в очаге деформации толщина заготовки уменьшается [2].

Уменьшение толщины стенки горловины и ее неплоскостность значительно повышают риск брака при сопряжении деталей [3]. При возрастании коэффициента d/D (диаметра горловины к диаметру заготовки) возрастает разнотолщинность стенки [4]. При этом наибольшее утонение стенки наблюдается в торцевой области горловины (поперек трубной заготовки). При определенной высоте готовой детали h_r утонение может превысить допусковые значения [5].

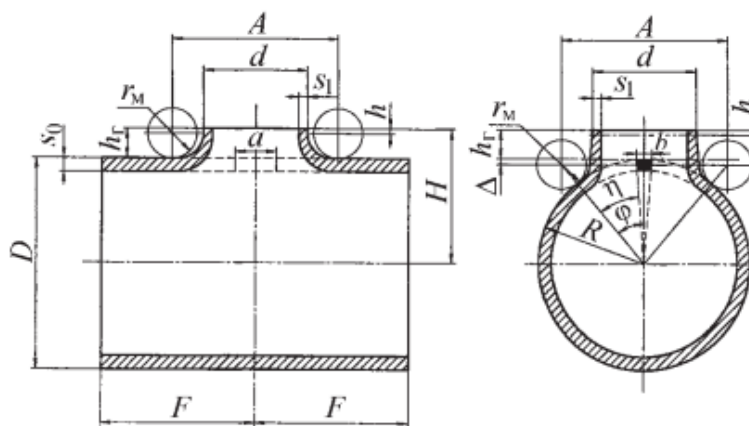


Рис.1. Геометрические параметры отбортованной горловины [14]

Только при соблюдении всех технологических параметров и правильном расчете геометрических характеристик можно получить качественное изделие с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

В настоящее время существует множество методов для анализа толщины стенок, включая способы неразрушающего контроля. Эти методы базируются как на теоретических расчётах с использованием компьютерных моделей, так и на эмпирических данных, полученных при проведении физических экспериментов [6, 7].

В данной статье будет рассмотрен процесс изготовления тройников из трубных заготовок методом многопереходной штамповки, компьютерное имитационное моделирование упругопластических деформаций, а также проблемы, связанные с утонением стенки, и технологические параметры, влияющие на этот процесс.

Основная часть. Технологический процесс изготовления тройников реализуют как в холодном, так и в горячем состоянии. В отдельных случаях для повышения эффективности процесса может применяться – селективный нагрев зон, подверженных максимальным деформациям (например, [8–12] и др.).

В современной промышленности методы обработки давлением получили широкое развитие благодаря освоению различных конструк-

тивно-технологических решений [13]. Большинство традиционных технологий, применяемых для производства трубных изделий, сталкиваются с серьезными ограничениями, которые затрудняют достижение всех необходимых характеристик конечного продукта. К числу таких технологий можно отнести сварку, механическую обработку и литье. Эти методы часто не обеспечивают необходимую точность геометрии изделий и равномерность толщины стенок, что приводит к повышенному количеству отходов. В процессе производства тройников и отводов, например, значительная часть заготовок может быть отбракована из-за необходимости их дополнительной обработки или утилизации дефектных изделий, объём отходов может достигать до 25 % при производстве равнопроходных тройников [9–11 и др.]. Поэтому переход к более эффективным методам, таким как многопереходная штамповка, может значительно снизить уровень отходов.

Представим для примера технологию производства тройников, применяемую на предприятии в Белгородской области. Вытяжка происходит на гидравлическом прессе с усилием тяги 100 тс. (см. рис. 2). В качестве заготовки на этом предприятии используют трубу 530×32, из которой получают горловину диаметром 290 мм, высотой 45 мм, с минимальной толщиной стенки 18 мм (рис. 3).

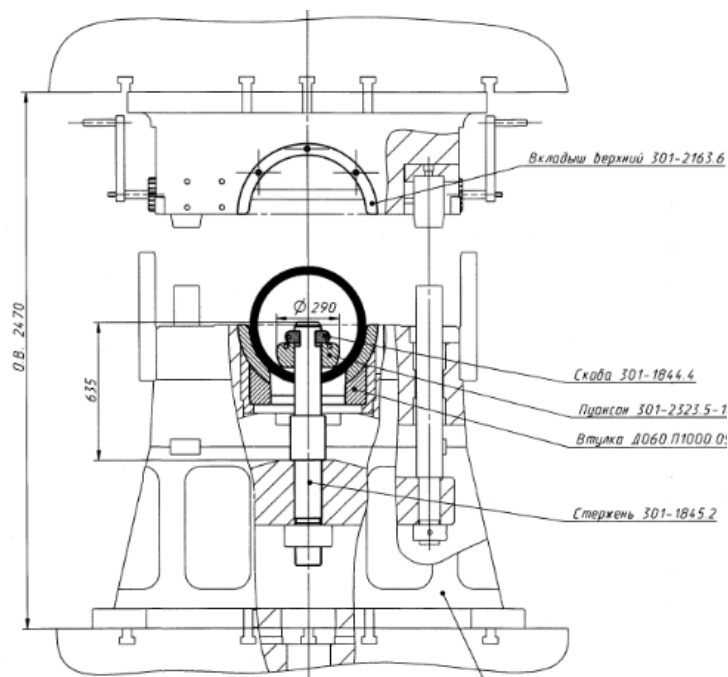


Рис. 2. Гидравлический пресс для вытяжки горловины [14]

В начале производственного процесса, в трубной заготовке формируют овальный вырез размером 124×62 мм. Затем ее нагревают до температуры 1150 градусов Цельсия, далее заготовку помещают между верхним и нижним вкладышами. Конусный пуансон, размещенный внутри трубной заготовки, жестко закреплен на тяговом стержне. Следующий этап – активация пресса и выполнение операции по формированию горловины изделия. Такой подход к производству позволяет получать качественные тройники с заданными характеристиками и надежностью.

Качественные характеристики получаемого изделия (утонение стенки горловины и ее высота) при реализации данного технологического процесса были промоделированы авторами по методике, представленной в работе [14], при этом получена хорошая сходимость фактических производственных данных с результатами математического моделирования.

В процессе организации штамповочного производства, существенная доля временных

ресурсов приходится на разработку технологической оснастки. Проектирование оснастки требует тщательного определения наилучших характеристик формообразующих поверхностей, а также выполнения расчётов на прочность конструкции [15].

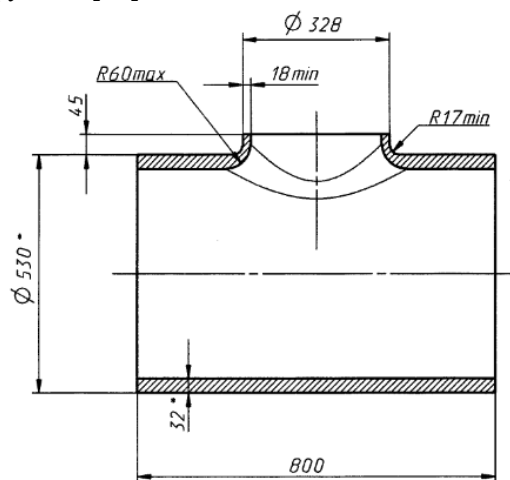
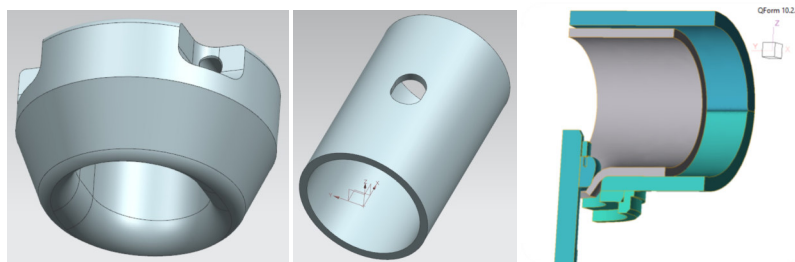


Рис. 3. Требуемые геометрические параметры тройника [14]



а)

б)

в)

Рис. 4. 3D модель: а – пуансон; б – трубная заготовка с овальным отверстием 124x162 мм.; в – расчетная модель [14]

Для выявления влияния технологических режимов процесса штамповки на качественные параметры получаемого изделия проведено дополнительное моделирование в программном комплексе QForm 11.1.1, который позволяет исследовать практически все известные технологические процессы обработки металлов давлением и проводить детальный анализ напряженно-деформированного состояния.

При моделировании приняты следующие основные подходы:

1. Тип операции – объемная деформация с учетом тепловых процессов.

2. Используется изотропная модель физических сред, при которой свойства материала считаются одинаковыми во всех направлениях. При моделировании упруго – пластических деформаций считается, что деформация материала является суммой упругой и пластической деформаций. Для описания взаимосвязи между напряжениями и деформациями используется уравнение Прандтля - Рейсса. (1)

3. В качестве критериев разрушения используется анализ деформаций – программа позволяет отслеживать локальные деформации, напряжения и температуры в материале, что помогает предсказать потенциальные проблемы, такие как появление трещин. Также накопление повреждений от пластической и упругой деформации суммируются в соответствии с деформационно – кинетическим критерием разрушения.

4. Для заготовки принята сталь 20 (аналогично реальному техпроцессу), сталь инструмента 5ХНМ.

5. Привод пуансонов – гидравлический пресс с усилием тяги 50 тс.

6. Тепловой поток мощностью 30 кВт, диаметр потока 500 мм, нагрев заготовки до 1150°C, температура воздуха 20°C

7. Для описания трения на контакте «заготовка–инструмент» была применена модель Леванова (2) с коэффициентом 1,25, а в качестве технологической смазки принята водная суспензия графита.

8. Сеточная модель состоит из объемных элементов в виде тетраэдров. Общее число объемных элементов чуть более 126 тыс. Также активирован параметр переразбиения сетки в процессе расчета. Необходимость измельчения и количество элементов, на которое производится деление исходного элемента, определяются кривизной контактной поверхности инструмента. Так, если в процессе формоизменения элемент сетки заготовки начинает контактировать с участком поверхности инструмента, для точного описания кривизны которого размер исходного элемента велик, элемент делится на необходимое

число элементов. Множитель адаптации, влияющий на количество элементов, равен 2.

9. Тепловой обмен между заготовкой и инструментами принят простой – на контакте с инструментом решается упрощенная совместная тепловая задача, т.е. изменение температуры инструмента рассчитывается только на тех поверхностях инструмента, где происходил контакт с заготовкой.

10. Рассмотрена ¼ часть реального процесса, т.к. в теории заготовка и инструменты абсолютно симметричны и соответственно должны иметь одинаковые свойства относительно плоскостей симметрии. Плоскости симметрии задаются в программном комплексе. Данное допущение позволяет ускорить процесс расчета математической модели.

11. Температура заготовки во втором переходе принята равной температуре, полученной после первого перехода (после воздействия шарового пуансона). Т.е. в математической модели считаем, что операции «нагрев-образование конусного отростка шаровым пуансоном - образование цилиндрического отверстия - выдавливание горловины конусным пуансоном» происходят сразу друг за другом, без потери времени на замену оснастки, разметку цилиндрического отверстия и т.п. В реальности же после первого перехода заготовка будет остывать значительно большее время, и перед вторым переходом потребуется еще раз ее нагревать.

$$d\varepsilon'_{ij} = \frac{d\sigma'_{ij}}{2G} + \frac{3d\bar{\varepsilon}^p}{2\bar{\sigma}} \cdot \sigma'_{ij} \quad (1)$$

здесь

$d\sigma'_{ij}$ – приращение девиатора напряжений;

$d\varepsilon'_{ij}$ – приращение девиатора деформаций;

$\bar{\sigma}$ – эффективное напряжение (интенсивность напряжений);

$\bar{d\varepsilon}^p$ – интенсивность приращения пластических деформаций;

G – модуль сдвига.

$$\tau = m \cdot \frac{\sigma_T}{\sqrt{3}} \cdot (1 - e^{-k \cdot \frac{\sigma_T}{\sigma_n}}) \quad (2)$$

здесь

m – фактор трения;

σ_T – напряжение текучести материала заготовки;

σ_n – нормальное контактное давление.

Вычислительный эксперимент был выполнен для трех вариантов исполнения трубной заготовки, отличающихся толщиной стенки. Исследовались три конфигурации: первый вариант с толщиной стенки 25 мм, второй – с толщиной 28 мм, и третий – с максимальной толщиной стенки 30 мм при постоянном диаметре 530 мм.

Итоговые данные по всем трем вариантам представлены в систематизированном виде в таблице 1 ниже.

Таблица 1

Толщина стенки горловины при различных исходных заготовках

Заготовка	Толщина стенки горловины, мм
530×25	16,3
530×28	17,4
530×30	18,9

При анализе производственных требований становится очевидно, что минимально необходимая толщина стенки может быть обеспечена заготовкой 530×30. Однако на практике применяется заготовка с толщиной стенки 32 мм. Это обусловлено действием производственных погрешностей, при которых расчетный запас в 0.9 мм может оказаться недостаточным для получения качественного изделия, что приведет к браку. В рамках дальнейшего исследования процесса изготовления горловины решено использовать заготовку 530×28. На текущем этапе эта заготовка не соответствует требуемым параметрам изделия.

Для обеспечения требуемых качественных параметров горловины при использовании заготовки 530×28 исследуем возможность применения метода многопереходной штамповки, описанный в источнике [4]. Этот подход позволит компенсировать недостающую толщину стенки и получить изделие требуемого качества.

В основе представленного технологического метода лежит использование сферических пуансонов заданного диаметра для формирования выпуклого элемента в исходной заготовке.

На рисунке 5 демонстрируется принципиальная двустадийная схема осуществления операции отбортовки горловины диаметром d при помощи шарового пуансона.

На начальном этапе производственного цикла происходит образование выпуклой зоны на боковой поверхности заготовки (элемент 3) при помощи шарообразного пуансона (элемент 2) с диаметром $d_{ш} \approx 0,8d$, используя протяжную матрицу (элемент 1). Высота полученного оторстка составляет $h_0 \approx 0,36d_{ш}$. После этого на выпуклой поверхности оторстка производится вырезка отверстия расчетного диаметра. На заключительном этапе, используя ту же матрицу (элемент 1), реализуется вторая часть операции штамповки – производится отбортовка горловины тройника, для чего задействуется специальный конусный пуансон (элемент 4).

Одним из основных преимуществ метода многопереходной штамповки является возмож-

ность уменьшения утонения стенки за счет применения выдавливания выпуклого оторстка с помощью шарового пуансона. Этот подход к формированию позволяет более равномерно распределять материалы вдоль стенки изделия, что минимизирует риски утонения и увеличивает прочность конечного продукта. При использовании многопереходной штамповки нагрузка распределяется более равномерно, что позволяет избежать концентрации напряжений в определенных областях. Это особенно важно для сложных геометрий, таких как тройники, где резкие изменения направления потока могут создать дополнительные механические нагрузки.

При осуществлении технологического процесса по формированию выпуклого оторстка рекомендуется предварительно выполнить операцию сверления в боковой части трубчатого изделия. Отверстие необходимо располагать симметрично относительно центральной оси шарового пуансона. Эта операция позволит целенаправленно утонять стенку в области вершины оторстка, что в свою очередь способствует более эффективному распределению металла в области будущей горловины изделия.

Также важным преимуществом такого технологического решения становится значительное облегчение процедуры закрепления шарового пуансона на начальном этапе процесса штамповки, что положительно влияет на качество получаемого изделия и производительность операции.

Важно отметить, что в источнике [3] описанная методика рассматривалась применительно к производству тройников с соотношением диаметров $d/D < 0.6$, при этом экспериментальная партия была изготовлена при параметрах $d/D = 89/219 = 0.41$. Мы же рассмотрим случай, когда соотношение диаметров превышает значение 0.6.

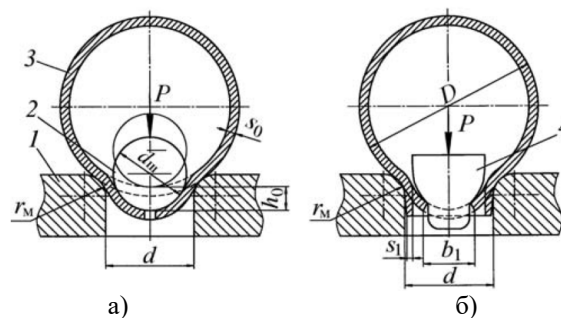


Рис. 5. Схема процесса многопереходной штамповки:
а) выдавливание выпуклого оторстка;
б) отбортовка горловины [4]

Используя методики, представленные в [4], вычислены геометрические параметры для математического моделирования процесса отбортовки методом многопереходной штамповки. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Геометрические параметры для многопереходной штамповки

D, мм	d, мм	d/D	s ₀ , мм	s ₁ , мм	d _ш , мм	h ₀ , мм	a ₁ , мм	b ₁ , мм
530	328	0.62	28	18	260	100	270	240

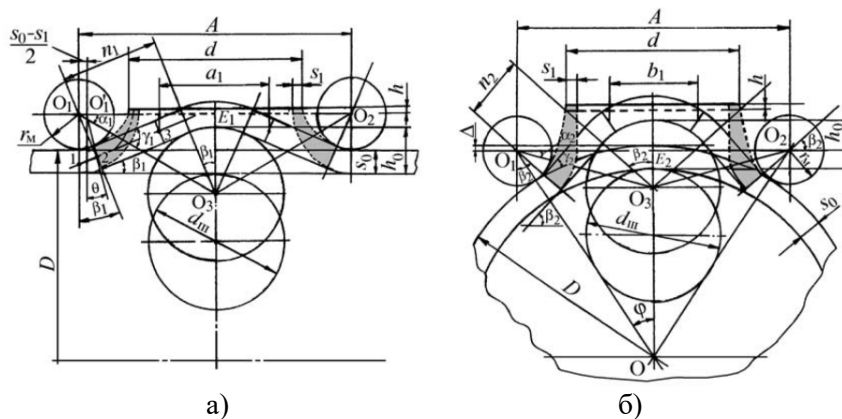


Рис. 6. Геометрическая схема для расчета размеров овального отверстия при многопереходной штамповке: а) продольная плоскость б) поперечная плоскость [4]

Для моделирования метода многопереходной штамповки была разработана расчетная математическая модель, которая включает 4 этапа:

1. Воздействие на трубную заготовку теплового потока.
2. Воздействие шарообразного пуансона в нагретой области.
3. Создание отверстия в заготовке.
4. Воздействие конусного пуансона.

Для повышения эффективности принято решение о замене овального выреза в заготовке на цилиндрический. Изменение формы вырезае-

мого отверстия с одной стороны является отклонением от первоначальной технологической карты процесса, с другой стороны – разметка и образование круглого отверстия с практической точки зрения является более простым подходом при изготовлении тройника, и как следствие, операция по изготовлению тройника становится более технологичной.

В ходе математического моделирования использованы несколько вариантов диаметров круглого отверстия в заготовке и выполнена сравнительная характеристика геометрических параметров отбортованной горловины.

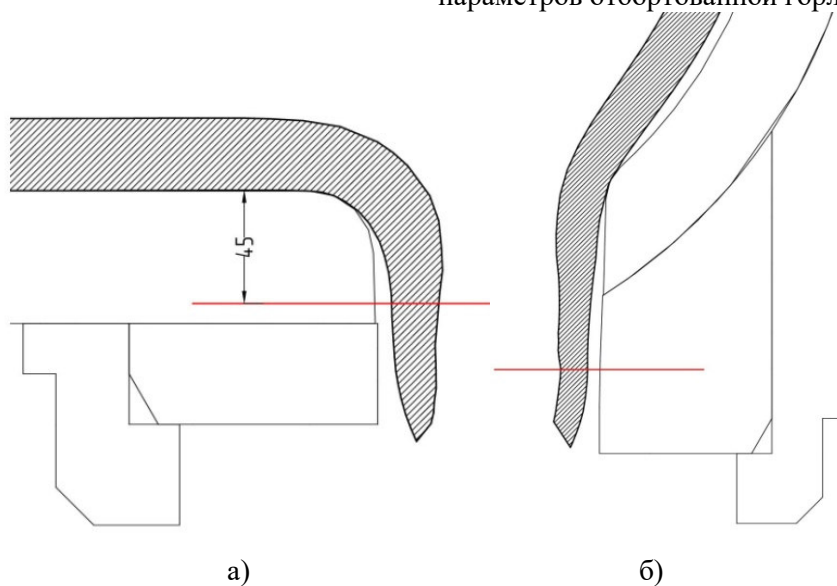


Рис. 7. геометрия полученной горловины а) поперек заготовки б) вдоль заготовки

На рис. 7 красной линией отмечена требуемая высота горловины – 45 мм. В этой зоне будем производить измерение толщины горловины.

Результаты данных расчетов отображены в таблице 3, диаметр шарового пуансона принят согласно табл. 2 – 260 мм.

Таблица 3

Геометрические параметры отбортованной горловины при использовании шарового пуансона диаметром 260 мм

Ø выреза, мм	min высота горловины, мм		min толщина горловины, мм	
	требуемая	расчетная	требуемая	расчетная
70	45	66.4	18	13.5
75		63		14.8
80		60.5		15.3
90		55.7		16.9
95		47		17.2
100		35.7		17.6

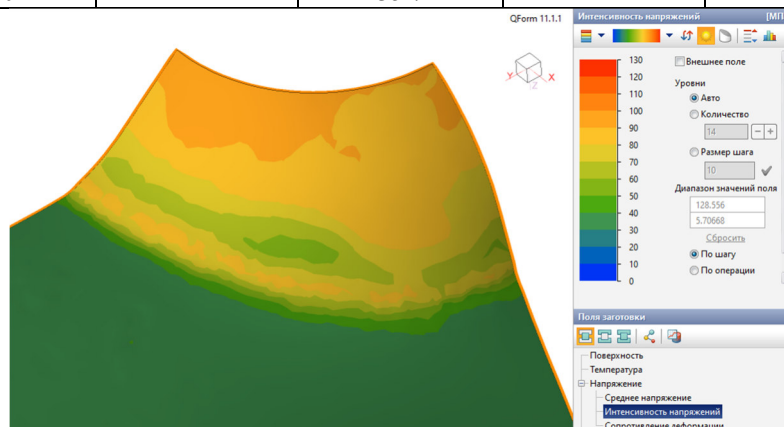


Рис. 8. Интенсивность напряжений в ходе вытяжки

Как мы можем видеть на рис. 8 интенсивность напряжений в зоне перехода заготовки в горловину не превышают 100 МПа.

Из таблицы 3 следует, что цель эксперимента не достигнута – требуемые параметры отбортованной горловины не получены. При диаметре цилиндрического выреза 95 мм высота горловины, которую можно обработать для последующих технологических операций по строительству трубопроводов, находится в пограничном значении. В остальных случаях цилиндриче-

ских вырезов фактическая высота горловины измерялась до достижения явных деформаций стенки горловины.

Так как цель данного расчета не достигнута, принято решение изменить диаметр шарового пуансона в первом переходе, и повторить расчеты в вариантах пограничных цилиндрических вырезов.

Для последующих расчетов принимаем диаметр шарового пуансона 250 (0,76d) и 240 (0,73d) мм.

Таблица 4

Геометрические параметры отбортованной горловины при использовании шаровых пуансонов диаметром 240 мм и 250 мм

Ø шарового пуансона, мм	Ø выреза, мм	min высота горловины, мм		min толщина горловины, мм	
		требуемая	фактическая	требуемая	фактическая
240	80	45	63	18	17,8
	90		46		18,9
	95		45		19,1
250	80		60		17,2
	90		47		18,6
	95		45		18,5

Как видно из таблицы 4, вариант с цилиндрическим вырезом 90 мм и 95 мм имеет удовлетворительные значения высоты и толщины горловины в обоих случаях шарового пуансона.

Также в обеих представленных таблицах установлена корреляция между диаметром цилиндрического выреза и толщиной стенки. При увеличении диаметра увеличивается и толщина

стенки, что на первый взгляд может показаться не логичным, т.к. вырезая больший объем материала, мы получаем большую толщину. Однако это объясняется тем, что весь не вырезанный материал переходит в высоту горловины, как видим из таблицы, при этом стенка утоняется. Необходимо также отметить и выявленную оптимизацию процесса штамповки, которая заключается в переходе от овального выреза к цилиндрическому, который технологически проще выполнить.

Выводы. В ходе исследования с использованием математического моделирования выявлена возможность применения перспективного метода многопереходной штамповки при изготовлении горловин тройников, имеющих соотношение диаметров более 0,6, определены технологические режимы, обеспечивающие требуемое качество изделия.

Важным аспектом является учет конкретных конструктивных особенностей и технологических решений при настройке модели. Принятые параметры математической модели обеспечивают адекватное воспроизведение реальных технологических процессов и состояний деформируемого металла при промышленном производстве тройников. Данная методика позволяет получать достоверные результаты при исследовании процессов, характеризующихся аналогичными температурными режимами, масштабными показателями, скоростными параметрами и силовыми характеристиками. Верификация методики математического моделирования выполнена путем сопоставления с данными натурных экспериментов в условиях промышленного производства.

Таким образом, разработанная модель может служить надежным инструментом для прогнозирования поведения металла в процессе штамповки и оптимизации технологического процесса производства тройниковых соединений. Кроме того, модель можно быстро адаптировать под измененные условия исследования, например, для анализа влияния различных геометрических параметров пуансонов.

Результатом исследования является применимость способа многопереходной штамповки для соотношения диаметра горловины к диаметру заготовки 0,6 и более. Однако при повышении коэффициента отношения диаметров горловины к заготовке необходимо уменьшать коэффициент, влияющий на диаметр шарового пуансона, примененный в [3]. Запас по толщине горловины составляет в таком случае около 1 мм. В дальнейшем целесообразно исследовать влияние изменения угла конусного пуансона во втором переходе для обеспечения еще большей точ-

ности изготовления. В случае успешных расчетных исследований данный запас сможет нивелировать погрешности технологических операций при серийном изготовлении тройников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Круглов Е.П., Галимов Э.Р., Аблясова А.Г., Галимов Н.Я., Юрасов С.Ю., Ганиев М.М., Схиртладзе А.Г., Рябов Е.А. Учебник для студентов машиностроительных специальностей // Казань: КНИТУ-КАИ, 2015. 433 с.
2. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки: учебник для вузов. Москва: МГТУ, 2000. 479 с.
3. Калужный В.Л., Калужный А.В., Пахолко С.А. Исследование процесса отбортовки круглых отверстий профилированной листовой заготовки // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2014. №5. С. 22–25.
4. Лукьянов В.П., Маткава И.И., Бойко В.А., Елхов В.А., Доценко Д.В., Безкорвайнов А.Г. Отбортовка горловины на трубных заготовках // *Заготовительное производство в машиностроении*. 2009. №4. С. 17–22.
5. Бут А.Ю. Показатель эффективности способов изготовления цельноштампованных тройников // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2025. №1(369). С. 23–31.
6. Могильнер Л.Ю., Неганов Д.А., Скуридин Н.Н. Обследование металлоконструкций на площадочных объектах магистральных трубопроводов. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2023. 440 с.
7. Рябчиков П.В. Повышение достоверности результатов контроля трубопроводов после реализации мероприятий по управлению надёжностью // *Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии*. 2024. № 5(367). С. 91–97. DOI: 10.33979/2073-7408-2024-367-5-91-97
8. Грязнов В.В., Кормаков Д.А., Меркушев Е.Н., Маркечко И.В., Коновалов В.А., Рачихин В.А. Исследование и моделирование процессов горячей штамповки равнопроходного тройника диаметром 530 мм, получаемого из стали 10Г2ФБЮ // *Ученые Омска – региону: Материалы VI Региональной научно-технической конференции*. Под общей редакцией Л.О. Штриплинга. Омский государственный технический университет, 2021. С. 15–19.
9. Гаврилов Р.В. Способы и особенности изготовления горловин в стальных заготовках // *Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова, посвященная 170-летию со дня рождения В.Г. Том*

Часть 7. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2023. С. 22–26.

10. Чан Д.Х., Нгуен В.Т., Нгуен М.Т., Лыонг В.Ж. Оптимизация технологических параметров гидроформовки т-образного переходника методом Тагучи. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2020. № 12. С. 527–534.

11. Abbassi F., Ahmad F., Gulzar S., Belhadj T., Karrech A., Soap Choi H. Design of T-shaped tube hydroforming using finite element and artificial neural network modeling // Journal of Mechanical Science and Technology. 2020. Vol. 34(2). Pp. 1129–1138. DOI: 10.1007/s12206-020-0214-4

12. Cui Xiao-Lei., Teng B., Yuan S. Hydroforming process of complex T-shaped tubular parts of nickel-based superalloy // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2021. Vol. 32. Pp. 476–490. DOI: 10.1016/j.cirpj.2021.02.001

13. Пат. 2492952 РФ, МПК В21С 37/29. Способ изготовления тройников (варианты) / Н.С. Пензенцева, А.М. Томилини, А.В. Пуйко. № 2012125168/02; заявл. 18.06.12; опубл. 20.09.13, Бюл. № 26.

14. Гаврилов Р.В. Процесс изготовления горловин в стальных заготовках. Математическое моделирование // Высокоэффективные технологические процессы машиностроительных производств, технологическая робототехника. Белгородский государственный технологический университет (БГТУ) им. В.Г. Шухова, 2024. С. 7–12.

15. Тетерина И.А., Табекина Н.А., Чепчуров М.С. Организация САПР проектирования технологической оснастки листовой штамповки и оценка временных затрат с использованием моделирования процесса вытяжки // Вестник БГТУ. В.Г. Шухова. 2016. № 1. С. 104–106.

Информация об авторах

Гаврилов Роман Владимирович, аспирант кафедры технология машиностроения. E-mail: gavrilov_romvl@edu.bstu.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии машиностроения. E-mail: tanduun@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгородская область, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 02.07.2025 г.

© Гаврилов Р.В., Дуюн Т.А. 2026

***Gavrilov R.V., Duyun T.A.**

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhova

**E-mail: gavrilov_romvl@edu.bstu.ru*

RODUCTION OF TEES FROM PIPE BLANKS BY THE METHOD OF MULTI-PASS STAMPING AT LARGE DIAMETER RATIOS

Abstract. *The production of pipe fittings, such as tees and crosspieces, is a complex and in-demand technological process that has not lost its relevance for many decades. And although there are currently many options for producing such parts, including casting, sheet bending with welding, pressing, and others, the stamping of solid tees and crosses from pipe blanks by drawing or forming a tap is still widely used in industry. This is due to a number of advantages that all-stamped fittings have: high quality and performance, relative ease of manufacture and a large range of standard sizes.*

The aim of the work is to analyze the influence of the technological parameters of multi-pass stamping on the formation of a neck with an increased diameter ratio (d/D more than 0.6) to ensure the required product quality. The object of the study is the process of multi-pass stamping when obtaining a neck with a diameter of 328 mm from a blank with a diameter of 530 mm. The study was performed using mathematical modeling in the QForm 11.1.1 software package. The study is based on a typical technological process for manufacturing the neck of one of the enterprises of the machine-building industry of the Belgorod region. The effect of changes in the geometric parameters of spherical punches in the first transition and cylindrical cutouts formed before the second transition under constant temperature conditions, drawing forces and geometry of the cone punch is analyzed. In the course of mathematical modeling, satisfactory parameters of the flanged neck were obtained.

Keywords: *multi-stage stamping, pipe blank, tee, punch, neck, mathematical modeling*

REFERENCES

1. Kruglov E.P., Galimov E.R., Abljasova A.G., Galimov N.Ya., Yurasov S.Yu., Ganiev M.M., Shkhirtladze A.G., Ryabov E.A. Textbook for students of mechanical engineering specialties [Uchebnik dlya studentov mashinostroitel'nyh special'nostej]. Kazan: KNITU-KAI, 2015. 433 p. (rus)
2. Popov E.A., Kovalev V.G., Shubin I.N. Technology and automation of sheet metal stamping: textbook. for universities [Tekhnologiya i avtomatizaciya listovoj shtampovki: uchebnik dlya vuzov]. Moscow: MSTU, 2000. 479 p. (rus)
3. Kalyuzhnyy V.L., Kalyuzhnyy A.V., Pakholko, S. A. Investigation of the flanging process of round holes in profiled sheet blanks [Issledovanie processa otbortovki kruglyh otverstij profilirovannoj listovoj zagotovki]. Metallurgical and Mining Industry. 2014. No.5. Pp. 22–25. (rus)
4. Lukyanov V.P., Matkova I.I., Boyko V.A., Elkhov V.A., Dotsenko D.V., Bezkorovaynov A.G. Neck flanging on pipe blanks [Otbortovka gorlovin na trubnyh zagotovkah]. Procurement Production in Mechanical Engineering. 2009. No.4. Pp. 17–22. (rus)
5. But A.Yu. Efficiency indicator of methods for manufacturing solid-stamped tees [Pokazatel' effektivnosti sposobov izgotovleniya cel'noshtampovannyh trojnikov]. Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. 2025. No.1(369). Pp. 23–31. (rus)
6. Mogilner L.Yu., Neganov D.A., Skuridin, N. N. Examination of metal structures at site facilities of trunk pipelines [Obsledovanie metallokonstrukcij na ploshchadochnyh ob"ektah magistral'nyh truboprovodov]. Moscow: TECHNOSPHERE, 2023. 440 p. (rus)
7. Ryabchikov P.V. Increasing the reliability of pipeline inspection results after implementing reliability management measures [Povyshenie dostovernosti rezul'tatov kontrolya truboprovodov posle realizacii meropriyatij po upravleniyu nadyozhnost'yu]. Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. 2024. No.5(367). Pp. 91–97. (rus) DOI: 10.33979/2073-7408-2024-367-5-91-97
8. Gryaznov V.V., Kormakov D.A., Merkushev E.N., Markechko I.V., Konovalov V.A., Rachikhin V.A. Research and modeling of hot stamping processes for an equal-pass tee with a diameter of 530 mm obtained from 10G2FBYU steel [Issledovanie i modelirovanie processov goryachej shtampovki ravnoprohodnogo trojnika diametrom 530 mm, poluchaemogo iz stali 10G2FBYU]. Uchenye Omska - regionu: Materialy VI Regional'noj nauchno-tekhnicheskoy konferencii. Pod obshej redakciej L.O. SHtriplinga .Omsk State Technical University. 2021. Pp. 15–19. (rus)
9. Gavrilov R.V. Methods and features of manufacturing necks in steel blanks [Sposoby i osobennosti izgotovleniya gorlovin v stal'nyh zagotovkah]. International Scientific and Technical Conference of Young Scientists of BSTU named after V.G. Shukhov, dedicated to the 170th anniversary of V.G. Shukhov's birth: Collection of reports. 2023. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Vol. Part 7. 2023. Pp. 22–26. (rus)
10. Tran D.H., Nguyen V.T., Nguyen M.T., Lyong V.Zh. Optimization of hydroforming technological parameters of a T-shaped adapter using the Taguchi method [Optimizaciya tekhnologicheskikh parametrov gidroformovki t-obraznogo perekhodnika metodom Taguchi]. News of Tula State University. Technical Sciences. 2020. No.12. Pp. 527–534. (rus)
11. Abbassi F., Ahmad F., Gulzar S., Belhadj T., Karrech A., Soap Choi H. Design of T-shaped tube hydroforming using finite element and artificial neural network modeling. Journal of Mechanical Science and Technology. 2020. Vol. 34(2). Pp. 1129–1138. DOI: 10.1007/s12206-020-0214-4
12. Cui X.-L., Teng B., Yuan S. Hydroforming process of complex T-shaped tubular parts of nickel-based superalloy. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. 2021.Vol.32. Pp. 476–490. DOI: 10.1016/j.cirpj.2021.02.001
13. Penzentseva N.S., Tomilin A.M., Puiko A.V. Method for manufacturing tees (variants). Patent RF no. 2012125168/02. 2013.
14. Gavrilov R.V. Process of manufacturing necks in steel blanks. mathematical modeling [Process izgotovleniya gorlovin v stal'nyh zagotovkah. matematicheskoe modelirovanie]. Highly efficient technological processes of mechanical engineering production, technological robotics. Belgorod State Technological University (BSTU) named after V.G. Shukhov. 2024. Pp. 7-12. (rus)
15. Teterina I.A., Tabekina N.A., Chepchurov M.S. Organization of CAD design of technological equipment for sheet metal stamping and assessment of time costs using modeling of the drawing process [Organizaciya sapr proektirovaniya tekhnologicheskoy osnastki listovoj shtampovki i ocenka vremennyh zatrat s ispol'zovaniem modelirovaniya processa vytyazhki]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2016. No 1. Pp. 104–106.

Information about the author

Gavrilov, Roman V. Postgraduate student. E-mail: gavrilov_romvl@edu.bstu.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Duyun, Tatyana A. DSc, Professor, E-mail: tanduun@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 02.07.2025

Для цитирования:

Гаврилов Р.В., Дуюн Т.А. Изготовление тройников из трубных заготовок методом многопереходной штамповки при больших соотношениях диаметров. Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 4. С. 105–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-4-105-115

For citation:

Gavrilov R.V., Duyun T.A. Roduction of tees from pipe blanks by the method of multi-pass stamping at large diameter ratios. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 4. Pp. 105–115. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-4-105-115