

<sup>1,\*</sup>Бут А. Ю., <sup>2</sup>Митичкина Н. Г.

<sup>1</sup>Севастопольский государственный университет,

<sup>2</sup>Донбасский государственный технический университет

\*E-mail: aybut@sevsu.ru

## СХЕМА БЕЗОТХОДНОГО РАСКРОЯ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЦЕЛЬНОШТАМПОВАННЫХ ТРОЙНИКОВ

*Работа посвящена изучению возможности безотходного раскроя труб на мерные заготовки для производства цельноштампованных тройников методами формовки внутренним давлением. Предложена специальная форма торца, которая позволяет шахматное расположение заготовок в исходной трубе. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие возможность использования заготовок указанной формы.*

**Ключевые слова:** штамповка, трубная заготовка, скошенные торцы, безотходный раскрой, тройник, формообразование, степень деформации, коэффициент раскроя, коэффициент использования металла.

**Введение.** Размер и форма заготовки играют важную роль в процессе получения цельноштампованного тройника, так как от них зависит характер и достижимая степень деформации и распределение толщины вдоль образующей детали. При этом более эффективными с точки зрения высоты и разностенности являются заготовки со скошенными торцами, сведения об использовании которых встречаются в работах С. А. Ербейгеля [1–4] и С. Б. Марьина [5–7], а также у других авторов [8–11]. Однако их форма, определяемая по соответствующим расчетам, может варьироваться. В результате способы их получения также различаются. В работе [12] предлагается более простая — радиальная — форма скосов на торцах заготовки и соответствующая ей схема построения шаблона. Но и она может быть улучшена. При этом, ввиду сложности формы заготовки, все известные варианты предполагают образование отхода.

В последнее время получают существенное развитие прогрессивные способы металлообработки, в частности, повышается скорость и точность разделительных операций. А растущие тенденции экологически устойчивого производства (Sustainable production) задают новые требования ресурсоэффективности.

**Целью** данной работы является снижение отходов металла в процессах изготов-

ления цельноштампованных тройников методами осадки в штампах с формированием отвода путем предложения и исследования схемы безотходного раскроя труб на мерные заготовки.

Для этого предлагается использовать определенную форму скошенного торца, при которой каждая линия раздела между соседними заготовками в исходной трубе описывает конечные контуры торцов заготовок и во фронтальной проекции имеет ось симметрии, совпадающую с проекцией оси трубы. Расположение заготовок можно назвать «шахматным». Принцип такого способа раскроя иллюстрирует схема на рисунке 1.

Получаемые в результате заготовки характеризуются двумя основными параметрами:

$r_c$  — радиус скоса торца, мм;

$l_c$  — длина скоса, мм.

В зависимости от требуемых условий последующего процесса формообразования тройника указанные параметры (наряду с длиной, диаметром и толщиной стенки заготовки) могут варьироваться. Соответственно, увеличение длины скоса (в большей степени) и уменьшение его радиуса (в меньшей степени) приводят к увеличению полезного объема скошенного торца и, таким образом, к увеличению объема металла, который в процессе деформирования подается непосредственно в отвод.

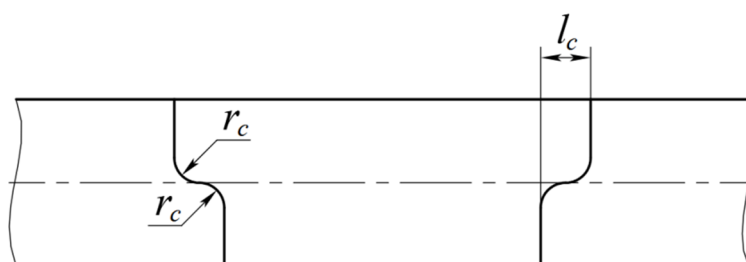


Рисунок 1 — Схема безотходного раскроя трубы на заготовки

Рассуждения иллюстрирует развертка части скошенного торца с обозначением основных параметров на рисунке 2.

Длина скоса предлагаемой формы в общем случае определяется его радиусом:

$$l_c = 2 \cdot r_c + \Delta_c, \quad (1)$$

где  $\Delta_c$  — разница между полной длиной скоса и удвоенной величиной радиуса, мм (может быть больше, меньше или равной нулю) (рис. 2).

Как было отмечено, в предлагаемой схеме раскроя продольная граница между заготовками всегда совпадает с проекцией оси симметрии трубы. Поэтому площадь поверхности скоса фактически представляет собой половину площади боковой поверхности условного цилиндра — участка трубы на торце заготовки, из которого формируется скос:

$$S_c = \frac{S_{ч-у}}{2} = \pi \cdot R_0 \cdot l_c, \quad (2)$$

где  $R_0$  — наружный радиус трубной заготовки, мм.

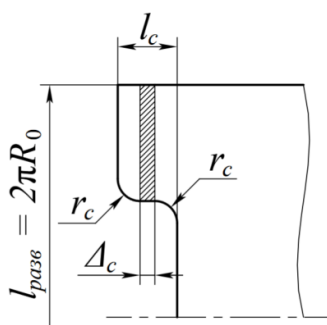


Рисунок 2 — Развертка части скошенного торца заготовки

Найденная площадь, аналогично [5, 8], может использоваться для определения картины перераспределения металла в процессе формообразования тройника.

С целью проверки принципиальной возможности использования заготовок указанной формы для изготовления цельноштампованных тройников были выполнены экспериментальные исследования. Проверка производилась по способу совмещенной однопереходной штамповки, описанному, в частности, в работе [13] и др., на примере равнопроходных тройников. Однако, как было отмечено выше, использование подобных заготовок возможно и встречается во многих других вариациях данного технологического процесса.

Цилиндрические трубные заготовки из сплава АД с наружным диаметром  $D_0 = 20$  мм, толщиной стенки  $S_0 = 1,0$  мм предварительно отрезались на токарном станке различной исходной длины:  $L_0 = 50, 55, 60$  мм. Далее на торцах заготовок ручным способом вырезались скосы. Для точного соблюдения формы и размеров скосов использовались специальные шаблоны (рис. 3), изготовленные из бумаги, которые накладывались на заготовку, и по ним наносились линии выреза. При этом радиус скоса варьировался в пределах от  $r_c = 3$  мм до  $r_c = 5$  мм, а длина скоса — от  $l_c = 6$  мм до  $l_c = 10$  мм. Затем, с целью повышения пластических характеристик, заготовки отжигались в нагревательной печи сопротивления с выдержкой 5 минут при температуре  $300$  °С и последующим охлаждением на открытом воздухе. Пример заготовки показан на рисунке 4.

При данных условиях и параметрах экспериментов наилучшие результаты формообразования были достигнуты для заготовок с размерами:  $r_c=3$  мм;  $l_c=7$  мм;  $L_0=50$  мм. В качестве критериев оценки принимались отсутствие дефектов, разностенность, высота ответвления. Фото готового тройника представлено на рисунке 5.

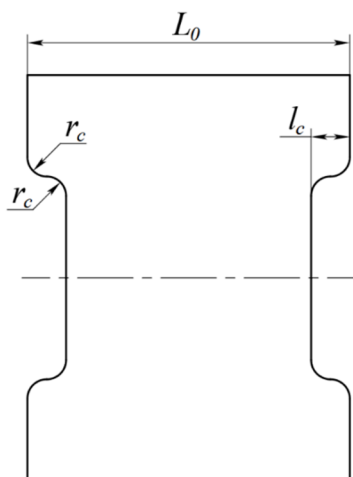


Рисунок 3 — Схема построения шаблона для получения заготовок со скошенными торцами



Рисунок 4 — Пример заготовки, построенной по предлагаемой схеме безотходного раскроя ( $r_c=3$  мм;  $l_c=7$  мм;  $L_0=50$  мм)

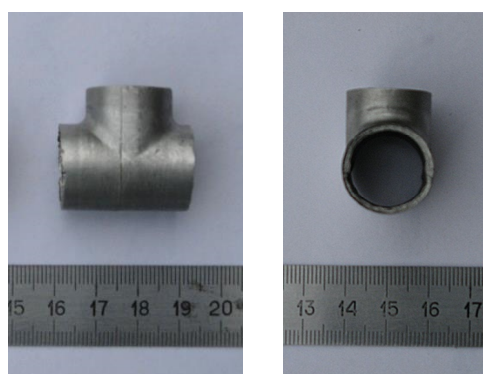


Рисунок 5 — Тройник, полученный из заготовки с  $r_c=3$  мм;  $l_c=7$  мм;  $L_0=50$  мм

**Выводы и направление дальнейших исследований.** На основании результатов исследования можно отметить следующее.

Предложенная новая радиальная форма скосов существенно упрощает процесс построения шаблона и дает возможность выполнять практически безотходный раскрой трубы на мерные заготовки. Рациональные варианты его осуществления — лазерная или плазменная резка [14].

Коэффициент использования металла при раскрое значительно увеличивается, поскольку в отход идут только части скосов на крайних (первой и последней) заготовках в исходной трубе. Для общей оценки эффективности этого вида раскроя показательным может быть коэффициент раскроя. Так, преобразовав известную зависимость [15], получим формулу для определения коэффициента раскроя трубы по данному способу, выраженную в объемах:

$$K_p = \frac{V_{заг\_i} \cdot n_i}{V_{тр}} = \frac{V_{тр} - V_{рез} - 2V_c}{V_{тр}}, \quad (3)$$

где  $V_{заг\_i}$  — объем каждой заготовки в трубе;  $n_i$  — количество заготовок в трубе;  $V_{тр}$  — объем металла всей трубы;  $V_{рез}$  — объем металла между заготовками, уходящий в отход при резании;  $V_c$  — объем сегмента трубы, фактически равный объему скоса, который идет в отход в области крайней заготовки в трубе.

В приведенной формуле вместо объемов могут использоваться массы или площади поверхностей соответствующих участков.

Применение заготовок с рассмотренной формой торцов, обеспечивающей их шахматное расположение в исходной трубе, для изготовления цельноштампованных тройников возможно. Получаемые тройники по геометрическим характеристикам соответствуют тем, которые изготавливаются из заготовок с другими формами скосов при аналогичных условиях деформирования [12]. Очевидно, что сама форма скосов на торцах может меняться.

Преимущество скошенных торцов (большая высота ответвления при меньшей разностенности) сохраняется.

Аналогично предыдущим исследованиям [1–7, 12] в первом приближении суще-

ственное влияние на процесс формообразования оказывают исходная длина заготовки и длина скосов. Чем меньше эти параметры, тем выше устойчивость заготовки и проще протекает перераспределение материала.

При этом для большего притока материала в область отвода и уменьшения разностенности желательны возможные увеличения длины скосов, что, в свою очередь, снижает устойчивость стенки. Однако предельные значения этого параметра в рамках данного исследования не изучались.

Для уточнения граничных возможностей формообразования тройников из заготовок, получаемых по предлагаемой схеме, а также для определения критериев оптимальности формы скосов на торцах требуются дальнейшие углубленные экспериментальные исследования.

#### **Список источников**

1. Эрбейгель С. А. Исследование, разработка и внедрение процессов формообразования унифицированных элементов трубопроводных систем летательных аппаратов эластичной средой на универсальных гидропрессах : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Х., 1986. 20 с.
2. Формообразование деталей типа «Тройник» полиуретаном на универсальном гидропрессе / В. К. Борисевич, С. А. Эрбейгель, Э. И. Письменный, А. Г. Калиниченко // *Авиационная промышленность*. 1986. № 5. С. 20–32.
3. Формообразование унифицированных элементов трубопроводных систем на универсальном гидропрессе / С. А. Эрбейгель [и др.] // *Конструктивно-технологические особенности, опыт проектирования и изготовления высоко ресурсного трубопровода большого диаметра : тезисы отраслевого семинара*. Киев : НИИТ, 1986. С. 154–165.
4. Эрбейгель С. А., Письменный Э. И., Голод Э. Д. Расчет силовых параметров процессов формообразования элементов трубопроводов полиуретаном // *Конструктивно-технологические особенности, опыт проектирования и изготовления особо тонкостенного высоко ресурсного трубопровода большого диаметра : тезисы докладов отраслевого семинара*. Киев : НИИТ, 1986. С. 48–50.
5. Марьин С. Б. Исследование процессов деформирования трубчатых заготовок эластичными и сыпучими средами : дис. ... канд. техн. наук. Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет, 2003. 151 с.
6. Марьин С. Б. Изготовление деталей из трубчатых заготовок с применением эластичных и сыпучих материалов // *Технологические системы*. 2005. № 3 (29). С. 12–20.
7. Марьин С. Б., Чернышев А. В. Новый способ изготовления разветвленного патрубка // *Прогрессивные технологии в машиностроении : сб. науч. тр. Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре ГТУ, 2002. Вып. 3. Ч. 2. С. 17–18.*
8. Хейн Вин Зо. Повышение эффективности технологических процессов формообразования трубных заготовок при изготовлении деталей летательных аппаратов : дис. ... д-ра техн. наук. Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре ГТУ, 2015. 350 с.
9. Севериненко А. Ю., Попов И. П., Маслов В. Д. Оптимизация параметров нового способа формообразования тонкостенных тройников // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15. № 6. С. 223–227. EDN RSFDOH

10. Закономерности деформирования при формообразовании тонкостенного тройника из анизотропной трубной заготовки / Ф. В. Гречников [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. № 6. Т. 15. С. 167–172. EDN RSFDKL

11. Маслов В. Д., Петров Ю. О., Северенко А. Ю. О новом подходе к формообразованию тонкостенных тройников // Авиационная промышленность. 2013. № 2. С. 37–41. EDN RIYTXD

12. Митичкина Н. Г., Бут А. Ю. Исследование процесса изготовления цельноштампованных тройников за один технологический переход с применением заготовок со скошенными кромками // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. 2010. Вып. 32. С. 254–260.

13. Митичкина Н. Г., Бут А. Ю. Совершенствование процесса формообразования элементов трубопроводов // Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета. 2010. Вып. 30. С. 194–201.

14. Григорьянц А. Г., Соколов А. А. Лазерная резка металлов. 3-е изд. стереотипное. Москва — Берлин : Директ-Медиа, 2021. 128 с. EDN TSQHGS

15. РД 50-657-88. Инструкция. Материалы и драгоценные металлы. Порядок нормирования. М. : Издательство стандартов, 1988. 30 с.

© Бут А. Ю., 2026

© Митичкина Н. Г., 2026

**Рекомендована к печати к.т.н., доц., зав. каф. ЦП СевГУ Тараховским А. Ю.,  
к.т.н., доц. каф. МТ ДонГТУ Коробко Т. Б.**

Статья поступила в редакцию 26.02.2026.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бут Александр Юрьевич**, канд. техн. наук, доцент каф. цифрового проектирования  
Севастопольский государственный университет,  
г. Севастополь, Россия, e-mail: aybut@sevsu.ru

**Митичкина Наталия Геннадиевна**, канд. техн. наук, доцент, зав. каф. металлургических технологий  
Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Россия

**But A. Yu.** (Sevastopol State University, Sevastopol, Russia, e-mail: aybut@sevsu.ru), **Mitichkina N. G.**  
(Donbas State Technical University, Alchevsk, Russia)

#### **WASTE-FREE BLANK CUTTING SCHEME FOR THE PROCESSES OF MANUFACTURING SEAMLESS TEES**

*The work is dedicated to studying the possibility of waste-free cutting of pipes into standard blanks for the production of seamless tees using internal pressure forming methods. A special end form is proposed, which allows a staggered arrangement of blanks in the initial pipe. The results of experimental studies confirming the possibility of using blanks of the specified shape are presented.*

**Key words:** blanking, pipe blank, tapered end, waste-free cutting, tee, formation, deformation ratio, coefficient of cutting, metal utilization factor.

#### References

1. Erbejgel' S. A. Research, development and implementation of formative processes for unified elements of flexible aircraft pipeline systems on universal hydraulic presses : synopsis of a thesis ... PhD in Engineering [Issledovanie, razrabotka i vnedrenie processov formoobrazovaniya unificirovannyh elementov truboprovodnyh sistem letatel'nyh apparatov elastichnoj sredoj na universal'nyh gidropressah : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk]. Kh. 1986. 20 p.

2. Borisevich V. K., Erbejgel' S. A., Pis'mennyj E. I., Kalinichenko A. G. Forming of "Tees" type parts with polyurethane on a universal hydraulic press [Formoobrazovanie detalej tipa «Trojnik» poliuretanom na universal'nom gidropresse]. *Aviation Industry*. 1986. No. 5. Pp. 20–32.

3. Erbejgel' S. A. [et al.]. Forming a unified system of pipeline elements on a universal hydraulic press [Formoobrazovanie unificirovannyh elementov truboprovodnyh sistem na universal'nom gidropresse]. *Konstruktivno-tehnologicheskie osobennosti, opyt proektirovaniya i izgotovleniya vysoko resursnogo truboprovoda bol'shogo diametra : tezisy otraslevogo seminara*. Kiev : NIAT. 1986. Pp. 154–165.

4. Erbejgel' S. A., Pis'mennyj E. I., Golod E. D. Calculating the force parameters for the forming processes of polyurethane pipe elements [Raschet silovyh parametrov processov formoobrazovaniya elementov truboprovodov poliuretanom]. *Konstruktivno-tehnologicheskie osobennosti, opyt proektirovaniya i izgotovleniya osobo tonkostennogo vysoko resursnogo truboprovoda bol'shogo diametra : tezisy dokladov otraslevogo seminara*. Kiev : NIAT. 1986. Pp. 48–50.

5. Mar'in S. B. Studying the deformation processes of pipe blanks in elastic and molten environments: a thesis ... PhD in Engineering [Issledovanie processov deformirovaniya trubchatyh zagotovok elastichnymi i sypuchimi sredami : dis. ... kand. tekhn. nauk]. Komsomolsk-on-Amur : Komsomolsk-on-Amur State Technical University. 2003. 151 p.

6. Mar'in S. B. Manufacture of parts from pipe blanks using elastic and bulk materials [Izgotovlenie detalej iz trubchatyh zagotovok s primeneniem elastichnyh i sypuchih materialov]. *Technological systems*. 2005. No. 3 (29). Pp. 12–20.

7. Mar'in S. B., Chernyshev A. V. New way of making a branched pipe [Novyj sposob izgotovleniya razvetvlennogo patrubka]. *Progressivnye tekhnologii v mashinostroenii : sb. nauch. tr. Komsomolsk-on-Amur : Komsomolsk-on-Amur STU*. 2002. Iss. 3. P. 2. Pp. 17–18.

8. Hejn Vin Zo. Improving the efficiency of technological processes for forming pipe blanks in aircraft parts manufacture : a thesis ... Doctor of Technical Sciences [Povyshenie effektivnosti tekhnologicheskikh processov formoobrazovaniya trubnyh zagotovok pri izgotovlenii detalej letatel'nyh apparatov : dis. ... d-ra tekhn. nauk]. Komsomolsk-on-Amur : Komsomolsk-on-Amur STU. 2015. 350 p.

9. Severinenko A. Yu., Popov I. P., Maslov V. D. Optimization of parameters for a new way of forming light-gauge tees [Optimizaciya parametrov novogo sposoba formoobrazovaniya tonkostennyh trojnikov]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013. Vol. 15. No. 6. Pp. 223–227. EDN RSFDOH

10. Grechnikov F. V. [et al.]. Deformation patterns in the formation of a light-gauge tees from an anisotropic pipe blank [Zakonomernosti deformirovaniya pri formoobrazovanii tonkostennogo trojnika iz anizotropnoj trubnoj zagotovki]. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2013. No. 6. Vol. 15. Pp. 167–172. EDN RSFDKL

11. Maslov V. D., Petrov Yu. O., Severenenko A. Yu. On a new approach to the formation of light-gauge tees [O novom podhode k formoobrazovaniyu tonkostennyh trojnikov]. *Aviation Industry*. 2013. No. 2. Pp. 37–41. EDN RIYTXD

12. Mitichkina N. G., But A. Yu. Studying the production process of seamless tees for one technological transition using blanks with sliedged edges [Issledovanie processa izgotovleniya cel'noshtampovannyh trojnikov za odin tekhnologicheskij perekhod s primeneniem zagotovok so skoshennymi kromkami]. *Sbornik nauchnyh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. Iss. 32. Pp. 254–260.

13. Mitichkina N. G., But A. Yu. Enhancing the process of forming pipeline elements [Sovershenstvovanie processa formoobrazovaniya elementov truboprovodov]. *Sbornik nauchnyh trudov Donbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2010. Iss. 30. Pp. 194–201.

14. Grigor'yanc A. G., Sokolov A. A. Laser cutting of metals. 3rd ed. stereotype [Lazernaya rezka metallov. 3-e izd. stereotipnoe]. Moscow. Berlin : Direct-Media. 2021. 128 p. EDN TSQHGGS

15. RD 50-657-88. Instruction. Materials and precious metals. Rationing order [RD 50-657-88. Instrukciya. Materialy i dragocennyye metally. Poryadok normirovaniya]. M. : Izdatel'stvo standartov. 1988. 30 p.

**INFORMATION ABOUT THE AUTHORS**

***But Aleksandr Yurievich***, PhD in Engineering, Assistant Professor of the Department of Digital Projecting

*Sevastopol State University,*

*Sevastopol, Russia, e-mail: aybut@sevsu.ru*

***Mitichkina Natalia Gennadievna***, PhD in Engineering, Assistant Professor, Acting Head of the Department of Metallurgical Technologies

*Donbas State Technical University,*

*Alchevsk, Russia*