

## Сравнительный анализ технологических методов раздачи трубчатой заготовки

© С.Б. Марьин, Д.А. Потянихин, Пхьо Вей Аунг, Мин Ко Хлайнг

КнАГУ, Комсомольск-на-Амуре, 681013, Россия

*Существенной проблемой в авиастроении остается производство надежных гидрогазовых систем, обеспечивающих высокую работоспособность. Это системы управления полетом, уборки-выпуска опор шасси, управления разворотом колес передней опоры шасси, управления щитками воздушных тормозов и интерцепторов, управления реверсом тяги двигателей и др. Рассмотрены технологические процессы изготовления деталей гидрогазовых систем летательных аппаратов. Проведенные исследования по раздаче средней части тонкостенных трубчатых заготовок холодным пластическим деформированием показали, что наиболее опасной является центральная часть рассматриваемой части заготовки, где имеются значительные растягивающие напряжения. Снижение этих напряжений, происходящее при создании подпора, позволяет увеличить коэффициент раздачи. Предложено применение новых типов рабочих тел для передачи давления в зону деформирования.*

**Ключевые слова:** гидрогазовые системы, летательные аппараты, раздача, трубчатые заготовки, рабочее тело

**Введение.** Особое место в гидрогазовых системах занимают трубопроводные коммуникации, на которые воздействует комплекс нагрузок: повышенная вибрация, гидравлические удары, температурные перепады, колебания и пульсации высоких давлений [1].

Значительно снижают качество трубопроводов явления, вызванные технологическим процессом их формообразования [2], например волнообразное отклонение поверхности стенок, разнотолщинность стенок, чрезмерная эллипсность, отклонения от радиусов перехода от одного диаметра к другому.

В трубопроводных коммуникациях широко применяют детали типа «переходник», «фитинг», «муфта» и т. п., изготавливаемые из трубчатых заготовок. Многие из них получают раздачей по жесткой матрице с использованием внутреннего давления жидкостного, газообразного и эластичного наполнителя.

Цель настоящей работы — разработать технологические процессы, позволяющие снизить энергетические и материальные затраты на технологическое оснащение и повысить производительность при изготовлении деталей из трубчатых заготовок для летательных аппаратов.

**Методы решения задач и материалы.** Для совершенствования гидрогазовых систем летательных аппаратов требуется непрерывная модернизация технологических процессов, в которых используются

универсальные элементы штамповой оснастки. В этом отношении большой интерес представляют процессы раздачи трубчатых заготовок рабочими телами [3–5], которые состоят из стержней из эластомеров и их комбинации со льдом (рис. 1).



**Рис. 1.** Рабочие тела для раздачи средней части трубчатой заготовки:  
*а* — эластичные стержни; *б* — ледяной стержень в эластичной оболочке

В результате проведенного анализа номенклатуры деталей трубопроводных коммуникаций летательных аппаратов определены детали, изготавливаемые раздачей (таблица).

**Классификатор деталей трубопроводных коммуникаций самолета, изготавливаемых из трубчатых заготовок давлением наполнителя**

Тип	Название	Эскиз элемента	Характеристика детали	Возможная технология
1	Переходник		$D = 16 \dots 70$ мм	Раздача средней части трубы посредством эластичной среды
2	Законцовка		$D = 16 \dots 70$ мм $D_1 / D_2 \leq 1,8$	Раздача посредством эластичной среды
3	Муфта		$D_1 / D_2 \leq 1,3$	Раздача посредством эластичной среды с последующей пробивкой отверстий полиуретаном
4	Переходник		$D = 10 \dots 100$ мм $D = D_1 \leq 2$	Раздача посредством эластичной среды

В качестве рабочих инструментов для раздачи трубчатых заготовок, как правило, выбирают полиуретаны с учетом их простоты и невысокой стоимости. При пластическом формообразовании эластичными средами поведение материала определяется температурой нагрева заготовки, а возможность деформирования при комнатной температуре невелика. Существенно повысить степень формоизменения в процессе раздачи позволяет введение подпора противодействия. Снижение растягивающих напряжений, происходящее при создании подпора, приводит к увеличению коэффициента раздачи на 7...15 % [6–8].

**Постановка задачи.** Раздача средней части трубчатых заготовок различными рабочими телами проводилась на лабораторной установке ОМД-3 (рис. 2) с использованием жестких матриц, устанавливаемых в корпусе (рис. 3).

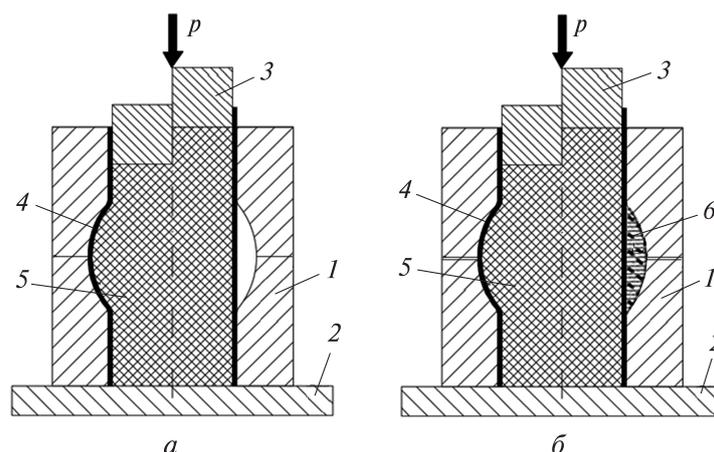


**Рис. 2.** Установка для экспериментального изучения основных видов штамповки:  
1 — компьютер; 2 — штампы; 3 — пресс; 4 — насосная станция



**Рис. 3.** Штамповая оснастка:  
1, 2 — верхняя и нижняя части матрицы; 3 — корпус

В корпусе устанавливают две части матрицы 1 — нижнюю, а затем и верхнюю, внутри которых размещают трубчатую заготовку 4 и рабочее тело 5 (рис. 4, а). Для серии экспериментов с подпором б свободное пространство в матрице заполняется водой и замораживается (рис. 4, б), таким образом формируется подпор б в зоне деформирования средней части заготовки.



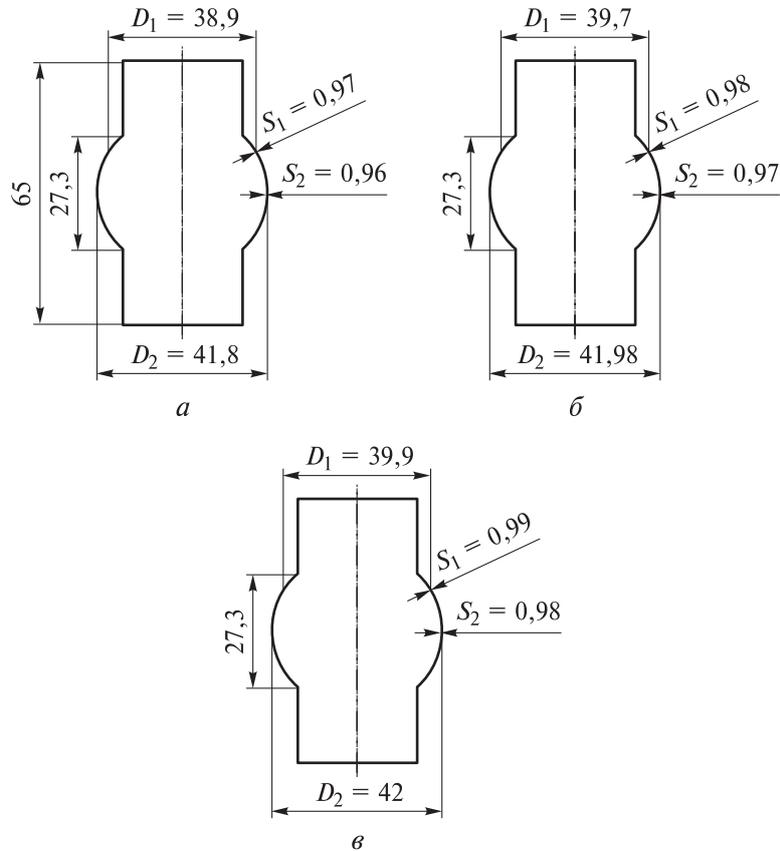
**Рис. 4.** Схема раздачи трубчатой заготовки с использованием внутреннего наполнителя (а) и с подпором (б):

1 — жесткая матрица; 2 — основание; 3 — пуансон; 4 — трубчатая заготовка; 5 — рабочее тело (эластичные стержни и лед в эластичной оболочке); б — подпор

Далее посредством перемещения пуансона 3 от ползуна пресса создается давление во внутренней зоне трубчатой заготовки 4, в результате чего происходит раздача ее средней части [9–12]. После этого пуансон поднимают вверх, разбирают матрицу 1 и вынимают готовую деталь с рабочим телом 5.

**Экспериментальные исследования.** Для детали типа «переходник» из титанового сплава ОТ4, который обладает высокой пластичностью и имеет положительный опыт эксплуатации в авиационной промышленности, проводились экспериментальные исследования. Длина образца 80 мм, внешний диаметр 32 мм, толщина стенки 1 мм.

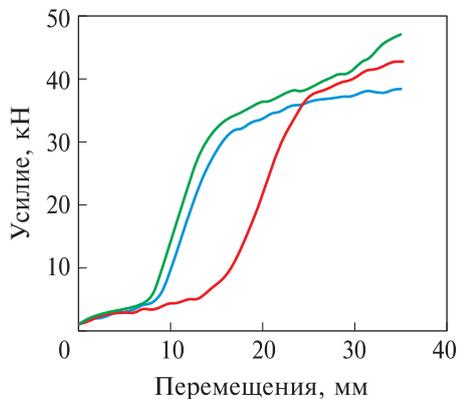
В первой серии опытов в качестве наполнителя применяли эластичные стержни и штамп без подпора. После снятия нагрузки и извлечения внутреннего наполнителя измеряли геометрические параметры образца в двух сечениях (рис. 5, а). Во второй серии экспериментов в качестве наполнителя использовали ледяной стержень в эластичной оболочке и штамп без подпора. Результаты измерений геометрических параметров образца в двух сечениях после снятия нагрузки представлены на рис. 5, б. В третьей серии экспериментов в качестве наполнителя применяли эластичные стержни и штамп с подпором. Соответствующие результаты измерений в двух сечениях после снятия нагрузки приведены на рис. 5, в.



**Рис. 5.** Результаты экспериментальных исследований с применением эластичных стержней без подпора (а), ледяного стержня в эластичной оболочке без подпора (б), эластичных стержней и штампа с подпором (в)

Зависимость усилия прессования от перемещения пуансона поршня представлена на рис. 6.

В процессе проведения экспериментов по получению натуральных образцов деталей появлялись характерные дефекты, показанные на рис. 7.



**Рис.6.** Зависимость усилия прессования от перемещения пуансона:  
 — резина, штамп без подпора; — лед, штамп без подпора; — резина, штамп с подпором



**Рис. 7.** Образцы деталей с дефектами: потеря устойчивости трубчатой заготовки (а), разрыв материала (б)



**Рис. 8.** Образцы деталей, полученные деформированием с применением эластичных и твердых сред

Образцы деталей, показанные на рис. 8, получены в ходе проведения опытных работ по деформированию трубчатых заготовок эластичными и твердыми средами.

Результаты экспериментов показывают, что точность геометрических параметров и утонение детали зависят от типа используемого рабочего тела и наличия противодействия с внешней стороны трубчатой заготовки. Применение льда в качестве рабочего тела дает более равномерное распределение усилия внутри трубчатой заготовки. При наличии подпора отмечаются снижение вероятности образования дефектов в материале трубчатой заготовки и увеличение степени деформации, что особенно актуально при раздаче трубчатых заготовок из высокопрочных алюминиевых сплавов, например Д16Т, Д19Т и В95.

**Заключение.** Для достижения поставленной цели по снижению энергетических и материальных затрат на технологическое оснащение и повышение производительности при изготовлении деталей из трубчатых заготовок для летательных аппаратов были решены следующие задачи:

- проанализированы существующие процессы и операции раздачи трубчатых заготовок;
- выявлены недостатки традиционных способов изготовления;
- разработаны методики проектирования и расчета технологических параметров новых типов рабочих тел для раздачи трубчатых заготовок;
- разработаны технологические процессы раздачи трубчатых заготовок эластичными и твердыми средами, проведена оптимизация параметров процесса, а также разработаны устройства и способы деформирования трубчатых заготовок.

На основе проведенных экспериментальных исследований предложены и подтверждены патентами новые устройства и рабочие тела, используемые при раздаче средней части трубчатых заготовок.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Min Ko Hlaing, Phone Htet Kyaw, Maryn B.N. Defect Analysis of Operating Hydro-Gasified Piping System. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019, vol. 1, pp. 885–894. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1\_94
- [2] Чжо Заяр Со, Феоктистов С.И. Определение технологических возможностей титановых и алюминиевых сплавов при раздаче. *Ученые записки*, 2019, № I-1 (37), с. 4–9.
- [3] Марьин С.Б., Пхью Вей Аунг. Различные типы рабочих тел для передачи давления при раздаче трубных заготовок. *Научно-техническое творчество аспирантов и студентов. Материалы 47-й Научно-технической конференции студентов и аспирантов*. Комсомольск-на-Амуре, 2017, с. 903–906.
- [4] Maryin S.B., Phyo Wai Aung. Working Body for Deformation of Thin-Walled Pipe Billets. *Materials Science Forum*, 2019, vol. 945, pp. 628–633. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.628>
- [5] Feoktistov S.I., Potianikhin D.A., Maryn B.N., Kyaw Zayar Soe. Simulation of thin-walled workpieces ends expanding for pipelines making. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 510, art. 012015.
- [6] Феоктистов С.И., Чжо Заяр Со. Определение предельного коэффициента раздачи по FLD-диаграммам. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением*, 2019, № 5, с. 27–34.
- [7] Кондратенко Л.А., Миронова Л.И. Образование остаточных напряжений при раздаче стальных труб. *Проблемы машиностроения и автоматизации*, 2019, № 1, с. 58–63.
- [8] Феоктистов С.И., Чжо Заяр Со. Методика расчета процессов обжима и раздачи трубных заготовок по криволинейной оправке. *VII Научно-практическая конференция с международным участием «Молодежь XXI век»*, 2018, с. 92–99.
- [9] Maryin S.B., Phyo Wai Aung. Device for Testing Pipe Billet. *Solid State Phenomena*, 2020, vol. 299, pp. 1166–1171. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.1166>
- [10] Попов И.П., Демьяненко Е.Г., Сулейманова И.Р. *Устройство для формообразования кольцевой тонкостенной заготовки*. Пат. № 115256 Российская Федерация, 2012, бюл. № 12.

- [11] Непершин Р.И. Раздача тонкостенной трубы пуансоном с криволинейным профилем. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2010, № 1, с. 80–88.
- [12] Попов И.П., Демьяненко Е.Г. *Способ формообразования тонкостенных осесимметричных деталей бочкообразной формы*. Пат. № 2548867 Российская Федерация, 2015, бюл. № 11.

Статья поступила в редакцию 25.09.2020

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Марьин С.Б., Потянихин Д.А., Пхьо Вей Аунг, Мин Ко Хлайнг. Сравнительный анализ технологических методов раздачи трубчатой заготовки. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2020, вып. 10.

<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2020-10-2027>

**Марьин Сергей Борисович** — д-р техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет. Автор 120 научных публикаций и патентов в области обработки металлов давлением и производства летательных аппаратов. e-mail: [maryinsb@mail.ru](mailto:maryinsb@mail.ru)

**Потянихин Дмитрий Андреевич** — канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет. Автор 50 научных публикаций и патентов в области механики деформируемого твердого тела, обработки металлов давлением и математического моделирования металлургических процессов. e-mail: [potyanikhin@mail.ru](mailto:potyanikhin@mail.ru)

**Пхьо Вей Аунг** — аспирант кафедры «Авиастроение», Комсомольский-на-Амуре государственный университет. Автор 10 научных публикаций и патентов в области обработки металлов давлением и производства летательных аппаратов. e-mail: [pwaung51@gmail.com](mailto:pwaung51@gmail.com)

**Мин Ко Хлайнг** — аспирант кафедры «Материаловедение и технология новых материалов», Комсомольский-на-Амуре государственный университет. Автор 6 научных публикаций и патентов в области механики деформируемого твердого тела, обработки металлов давлением и математического моделирования металлургических процессов. e-mail: [minkohlaing53@gmail.com](mailto:minkohlaing53@gmail.com)

## Research of the process of distributing the middle part of tubular blanks

© S.B. Maryin, D.A. Potyanikhin, Phyo Wai Aung, Min Ko Hlaing

Komsomolsk on Amur State University, Komsomolsk-on-Amur, 681013, Russia

*A significant problem in the aircraft industry remains the production of reliable hydro-gas systems, such as flight control, landing gear retraction and release, wheel turn control of the front landing gear, control of air brakes and spoilers, engine thrust reversal control, et al., providing a high degree of performance and reliability. The article discusses the technological processes of manufacturing parts for hydro-gas systems of aircraft. Research has been carried out on the expansion of the middle part of thin-walled tubular billets by cold plastic deformation, which showed that the most dangerous is the middle part of the considered part of the billet, where there are significant tensile stresses. The reduction in tensile stresses that occurs when creating an ice retainer allows to increase in the expansion ratio. The application of new types of working bodies is proposed for transferring pressure to the deformation zone.*

**Keywords:** hydro-gas systems, aircraft, distribution, tubular blanks, working body

### REFERENCES

- [1] Min Ko Hlaing., Phone Htet Kyaw., Maryn B.N. Defect Analysis of Operating Hydro-Gasified Piping System. *Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 2019, vol. 1, pp. 885–894. DOI: 10.1007/978-3-030-22063-1\_94
- [2] Feoktistov S.I., Kyaw Zayar Soe. Opredele niye tekhnologicheskikh vozmozhnostey titanovykh i alyuminiyevykh splavov pri razdache [Determination of technological capabilities of titanium and aluminum alloys during distribution]. *Uchenye zapiski*, 2019, no. I-1 (37), pp. 4–9.
- [3] Maryin S.B., Phio Wei Aung. Razlichnyye tipy rabochikh tel dlya peredachi davleniya pri razdachi trubnykh zagotovok [Various types of working media for transmitting pressure when dispensing pipe billets]. *Scientific and technical creativity of graduate students and students. Materials of the 47th Scientific and technical conference of students and graduate students*. Komsomolsk-on-Amur, 2017, pp. 903–906.
- [4] Maryin S.B., Phyo Wai Aung. Working Body for Deformation of Thin-Walled Pipe Billets. *Materials Science Forum*, 2019, vol. 945, pp. 628–633. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.945.628>
- [5] Feoktistov S.I., Potianikhin D.A., Maryn B.N., Kyaw Zayar Soe. Simulation of thin-walled workpieces ends expanding for pipelines making. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 510, art. 012015.
- [6] Feoktistov S.I., Kyaw Zayar Soe. Opredele niye predel'nogo koeffitsiyenta razdachi po FLD-diagrammam [Determination of the limiting distribution ratio according to FLD diagrams]. *Forging and Stamping Production. Metal Forming by Pressure*, 2019, no. 5, pp. 27–34.
- [7] Mironova L.I. Obrazovaniye ostatochnykh napryazheniy pri razdache stal'nykh trub [Formation of residual stresses during the distribution of steel pipes]. *Problems of Mechanical Engineering and Automation*, 2019, no. 1, pp. 58–63.

- [8] Feoktistov S.I., Kyaw Zayar Soe. Metodika rascheta protsessov obzhima i razdachi trubnykh zagotovok po krivolineynoy opravke [Methodology for calculating the processes of crimping and expanding pipe billets along a curved mandrel]. *VII Scientific-practical conference with international participation "Youth of the XXI century"*, 2018, pp. 92–99.
- [9] Maryin S.B., Phyo Wai Aung. Device for Testing Pipe Billet. *Solid State Phenomena*, 2020, vol. 299, pp. 1166–1171.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.1166>
- [10] Popov I.P., Demyanenko E.G., Suleymanova I.R. *Ustroystvo dlya formoobrazovaniya kol'tsevoy tonkostennoy zagotovki* [A device for forming an annular thin-walled workpiece]. Pat. no. 115256 Russian Federation, 2012, bul. no. 12.
- [11] Nepershin R.I. Razdacha tonkostennoy truby puansonom s krivolineynym profilem [Distribution of a thin-walled pipe with a punch with a curved profile]. *Problems of Mechanical Engineering and Reliability of Machines*, 2010, no. 1, pp. 80–88.
- [12] Popov I.P., Demyanenko E.G. *Sposob formoobrazovaniya tonkostennykh osetsimmetrichnykh detaley bochkooobraznoy formy* [The method of forming thin-walled axisymmetric barrel-shaped parts]. Pat. no. 2548867 Russian Federation, 2015, bul. no. 11.

**Maryin S.B.** (b. 1973) graduated from Komsomolsk-on-Amur state University in 2001. Dr. Sc. (Eng.), associate professor, acting head of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-on-Amur State University; author of 120 research publications and patents in the field of metal forming and aircraft manufacturing. e-mail: maryinsb@mail.ru

**Potyanikhin D.A.** (b. 1984) graduated from Far Eastern National University in 2007. Cand. Sc. (Phys.-Math.), associate professor of the Department of Aircraft Engineering, Komsomolsk-on-Amur state University; author of 50 research publications and patents in the field of deformable solid mechanics, metal processing by pressure and mathematical modeling of metallurgical processes. e-mail: potyanikhin@mail.ru

**Phyo Wai Aung** (b. 1989) graduated from Moscow State of Aviation Technological Institute in 2013; post-graduate student of the Department of Aviation Engineering, Komsomolsk-on-Amur state University; author of 10 research publications and patents in the field of metal forming and aircraft manufacturing. e-mail: pwaung51@gmail.com

**Min Ko Hlaing** (b. 1991) graduated from Russian University of Chemical Technology named after D.I. Mendeleev in 2015; post-graduate student of the Department of Materials Science and Technology of New Materials, Komsomolsk-on-Amur State University; author of 6 research publications and patents in the field of deformable solid mechanics, metal processing by pressure and mathematical modeling of metallurgical processes. e-mail: minkohlaing53@gmail.com