

УДК 621.7.043: 629.73.063

doi: 10.18698/0536-1044-2023-12-124-130

# Изготовление трубы свертыванием листовой заготовки\*

И.В. Лозовский, С.Б. Марьин, В.В. Черномас, А.К. Кузнецов

ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

## Pipe manufacture by sheet blank rolling

I.V. Lozovskiy, S.B. Maryin, V.V. Chernomas, A.K. Kuznetsov

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“Amur State University of Humanities and Pedagogy”

Рассмотрен способ получения труб для гидрогазовых систем летательных аппаратов путем свертывания из листовой заготовки. Для реализации этого процесса предложено использовать специальный штамп, неподвижная часть которого выполнена в виде контейнера, заполненного эластосыпучей средой. В отличие от других технологий свертывания листовой заготовки, предлагаемый способ позволяет существенно снизить себестоимость, повысить технологическую гибкость изготовления труб и профилей при переходе с одной номенклатуры изделий на другую, что является чрезвычайно перспективным направлением в условиях современного производства. Для определения энергосиловых параметров процесса свертывания листовой заготовки с применением эластосыпучей среды в программном комплексе Pam-Stamp 2G проведено моделирование процесса формообразования трубы. Определены напряжения и деформации в системе заготовка — эластосыпучая среда. Для верификации результатов моделирования изготовлен опытный штамп, проведен натурный эксперимент по свертыванию трубы и незамкнутых профилей. По результатам эксперимента установлено, что для штампа с контейнером, заполненным эластосыпучей средой, усилие деформирования листовой заготовки в 4 раза меньше, чем для штампа с монолитной эластичной матрицей, что является одним из главных преимуществ предлагаемого способа.

**Ключевые слова:** изготовление труб и профилей, летательные аппараты, свертывание листовой заготовки, эластосыпучая среда

The paper considers manufacture of pipes for the aircraft hydro-gas systems by the method of sheet blank rolling. To implement this process, it proposes to use a special stamp, which stationary part is made in the form of a container filled with the elastic loose medium. Unlike other technologies for the sheet blank rolling, the proposed method is able to significantly reduce costs and increase technological flexibility in the pipes and profiles production when transferring from one product range to another, which is an extremely promising direction in the modern production conditions. To determine energy-power parameters of the sheet blank rolling process using the elastic loose medium, the pipe forming process was simulated in the Pam-Stamp 2G software package. Stresses and deformations in the workpiece – elastic loose medium system were determined. To verify the simulation results, an experimental stamp was manufactured, and a full-scale experiment was carried out on the pipes and open profiles rolling. Based on the experiment results, it was established that deformation force of a sheet blank for a stamp with a container filled with the elastic loose

\* Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-11-00165.

medium was 4 times less than the deformation force of a stamp with the monolithic elastic matrix, which appeared to be one of the main advantages of the proposed method.

**Keywords:** pipes and profiles manufacture, aircraft, sheet blank rolling, elastic loose medium

Одним из перспективных способов изготовления труб в самолетостроении является свертывание из листовых полуфабрикатов. Этот формоизменяющий способ позволяет выполнить изделие с соблюдением заданных чертежных размеров и нормативных механических свойств и существенно снизить его себестоимость по сравнению с ценой покупки готовых труб [1, 2].

Цель работы — усовершенствование способа листовой штамповки применением эластосыпучей среды (ЭСС) для повышения точности выполнения деталей и снижения требуемого усилия деформирования при их изготовлении.

Известны три основных технологических варианта свертывания листовой заготовки: гибка в жесткой (металлической) матрице, гибка в штампе с эластичной матрицей и гибка в штампе с ЭСС.

Основное достоинство гибки в жесткой матрице — плотное прилегание заготовки к внутренней (рабочей) поверхности матрицы. К недостаткам этого способа относятся высокая стоимость и трудоемкость изготовления матрицы, а также большие усилия деформирования листовой заготовки [3–5].

Основным достоинством гибки в штампе с эластичной матрицей является простота конструкции инструмента, низкая стоимость его выполнения и отсутствие необходимости изготовления и подгонки второго рабочего инструмента (матрицы), что существенно сокращает сроки подготовки производства. Недостатки этого способа связаны с необходимостью применения дополнительной единицы оснастки (калибровочного штампа) и выполнения доводочных операций для заготовок большой толщины [6].

Достоинства гибки в штампе с ЭСС заключаются в простоте конструкции оснастки, низкой стоимости ее изготовления (так как отпадает необходимость производства второго рабочего инструмента и проведения доводочных операций для его подгонки) и высокой износостойкости ЭСС. Основной недостаток этого способа — дорогостоящий материал самой среды [7].

**Методика исследования.** По результатам конструктивно-технологического анализа технологий для выполнения экспериментальной штамповки выбраны следующее оборудование и оснастка:

- для разделительной операции — гильотинные ножницы Н-407;
- для формоизменяющей операции — гидравлический пресс ОМД-1 и гибочный штамп с эластичной средой и ЭСС.

Для получения труб из листовых заготовок штамповкой в ЭСС разработана конструкция штампа, неподвижная часть которого выполнена в виде контейнера, заполненного ЭСС [8]. Схемы штампа в исходном состоянии и при штамповке приведены на рис. 1, а и б, а внешний вид экспериментального штампа и установленного на прессе штампа — на рис. 2, а и б.

При экспериментальном исследовании в качестве эластосыпучего материала использованы шары из полиуретана СКУ-7Л (ТУ 22.29.29-001-15762649–2017) диаметром 5 мм. По основным физико-механическим свойствам полиуретан имеет преимущества перед резиной. В частности, предел его прочности больше, чем у резины, что значительно повышает срок эксплуатации полиуретана.

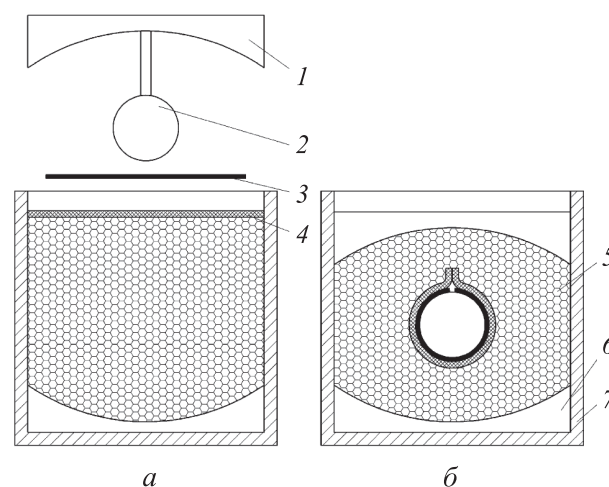


Рис. 1. Схемы штампа в исходном состоянии (а) и при штамповке (б):

1 — пуансонодержатель; 2 — пуансон; 3 — листовая заготовка; 4 — резиновая пластина; 5 — ЭСС; 6 — вкладыш; 7 — контейнер

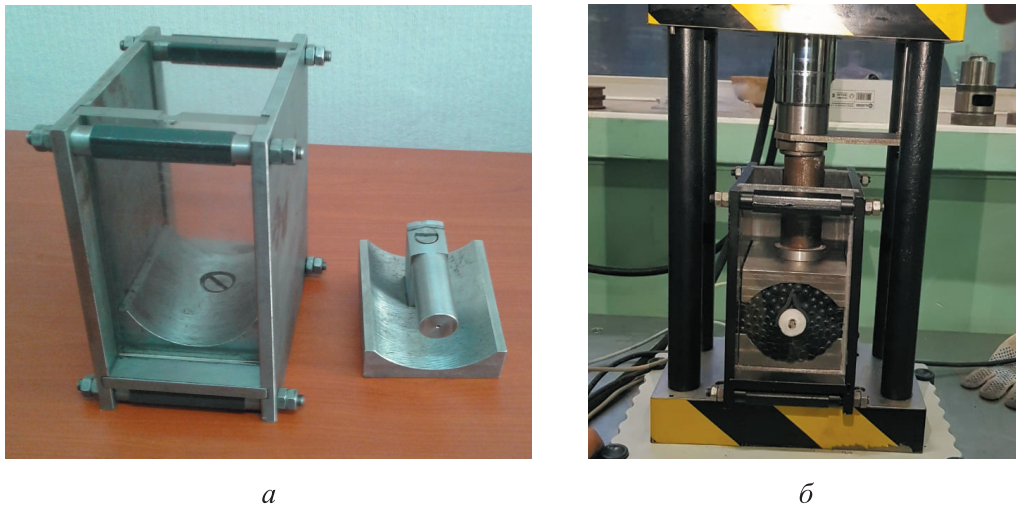


Рис. 2. Внешний вид экспериментального штампа (а) и установленного на прессе штампа (б)

Моделирование процесса штамповки проведено в программном комплексе Pam-Stamp 2G [9]. Трехмерная модель штампа построена в САД-системах типа T-Flex и NX. Полученная модель использована для визуализации работы штампа, моделирования процесса штамповки в программном комплексе Pam-Stamp 2G и для изготовления экспериментального штампа с целью проведения натурального эксперимента.

Результаты моделирования процесса штамповки новым штампом приведены на рис. 3, где желтым цветом показан пуансон, зеленым — сыпучая среда, фиолетовым — листовая заготовка, голубым — контейнер, синим — крышка с вырезом, предназначенным для более раннего этапа формообразования.

В целях уменьшения трудоемкости расчета дальнейшее моделирование проведено для небольшого участка половины штампа [10–13].

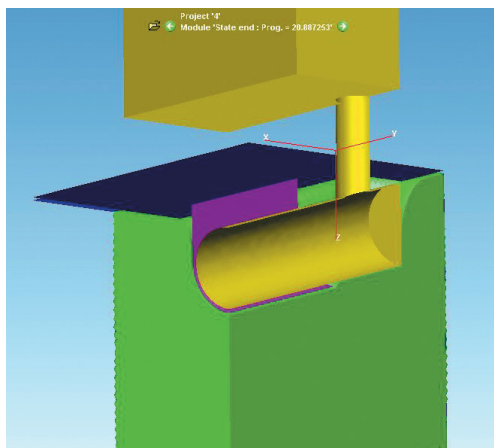


Рис. 3. Результаты моделирования процесса штамповки новым штампом

Полученные расчетные данные коррелируют с результатами натурального эксперимента.

Материал заготовки — лист алюминиевого сплава АМг2 толщиной 1,5 мм, коэффициент трения заготовки с пуансоном — 0,12, параметры ЭСС взяты аналогичными таковым для натурального эксперимента.

**Результаты и их обсуждение.** Выдавливаемая пуансоном ЭСС вследствие малой сжимаемости и сыпучести заполняла имеющуюся пустоту, оказывая давление на заготовку и придавая ей дополнительный угол загиба. Но вытесняемых объемов оказалось недостаточно, чтобы завернуть заготовку до конца. Диаграммы формоустойчивости и распределения толщин не представля-

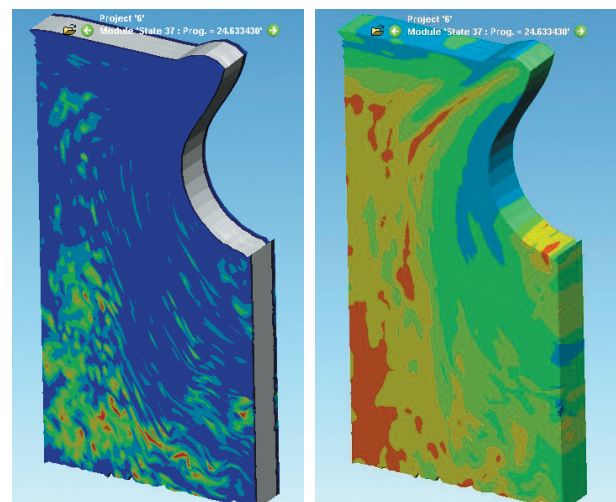


Рис. 4. Результаты исследования перемещения ЭСС (а) и распределения в ней внутренних напряжений (б)

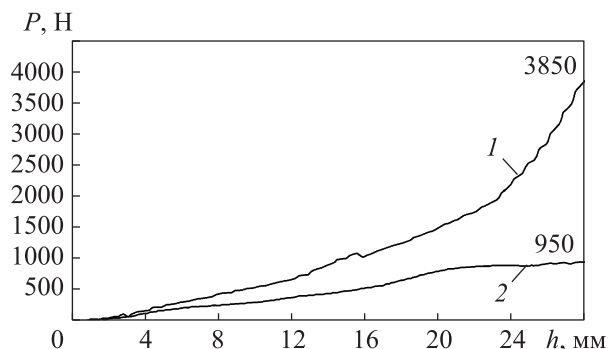


Рис. 5. Зависимости усилия деформирования  $P$  листовой заготовки в эластичную матрицу (1) и ЭСС (2) от перемещения пунсона  $h$

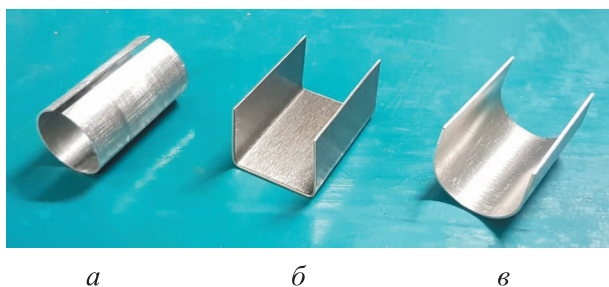


Рис. 6. Внешний вид опытных образцов труб и профилей, изготовленных из листовых заготовок свертыванием в ЭСС:

$a$  — свертыванием по диаметру;  $b$  — двухугловой гибкой в одной плоскости;  $v$  — U-образной гибкой

ли интереса, так как толщина листа почти не изменялась, и трещины или заломы при такой конфигурации штампа не появлялись.

Для более детального изучения процессов формообразования заготовки исследованы процессы, протекающие в сыпучей среде на протяжении всего цикла деформирования. Результаты исследования перемещения ЭСС и распределения в ней внутренних напряжений приведены на рис. 4,  $a$  и  $b$ .

Данные, полученные при изготовлении детали свертыванием в эластичную матрицу и ЭСС, в виде графических зависимостей усилия деформирования листовой заготовки от перемещения пунсона приведены на рис. 5. Видно, что усилия, необходимое для формообразования листовой заготовки, при ее гибке в ЭСС (гранулированный полиуретан) более чем в 4 раза меньше, чем при гибке в эластичную матрицу (резиновую подушку).

## Литература

- [1] Братухин А.Г., ред. *Современные технологии в производстве газотурбинных двигателей*. Москва, Машиностроение, 1997. 410 с.

В результате проведенной работы исследован способ свертывания листовых заготовок в ЭСС. Получены опытные образцы деталей, показанные на рис. 6,  $a$ – $v$ . [14].

Разработанный штамп позволяет снизить себестоимость деталей, изготавливаемых из листовых заготовок, благодаря простоте и универсальности оснастки при обеспечении значительных степеней формоизменения, минимального пружинения, стабильности механических свойств изделия и высокого качества поверхностей [15].

## Выводы

1. Предложена новая конструкция штампа, неподвижная часть которого выполнена в виде контейнера, заполненного ЭСС.

2. Установлено, что по сравнению со штамповкой в цельную эластичную матрицу новый способ свертывания изделия с применением разработанного штампа имеет следующие преимущества:

- уменьшение усилия деформирования примерно в 4 раза; это позволяет снизить время изготовления и использовать для производства изделия оснастку из более дешевого материала, например из пластика напечатанную на 3D-принтере, что упрощает задачу механической обработки;
- улучшение качества выполнения детали (точность изготовления увеличивается на 3...12 %);
- значительное увеличение глубины внедрения пунсона;
- отсутствие необходимости изготовления дополнительных матричных блоков для получения деталей из листовых заготовок различной конфигурации, что указывает на универсальность разработанного штампа;
- возможность изготовления более тонкостенных труб для гидрогазовых деталей самолетов, так как можно использовать тонколистовые заготовки толщиной 0,3...1,0 мм;
- повышение эксплуатационных характеристик оснастки (увеличение числа циклов эксплуатации).

- [2] Феоктистов С.И., ред. *Теория и практика изготовления элементов трубопроводов летательных аппаратов*. Комсомольск-на-Амуре, КнАГТУ, 2013. 88 с.
- [3] Марьин Б.Н., Макаров К.А., Шпорт Р.В. Изготовление высокоресурсных элементов гидрогазовых систем самолета. *Авиационная промышленность*, 2007, № 4, с. 38–41.
- [4] Марьин Б.Н., Ким В.А., Сысоев О.Е. и др. Анализ дефектов эксплуатируемых гидрогазовых систем трубопроводов. *Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета*, 2017, т. 1, № 1, с. 79–89.
- [5] Namin O.N. Approximate estimation of force parameters during stamping by extrusion of hollow blanks. *Modern Materials, Equipment and Technologies*, 2020, vol. 5, no. 32, pp. 128–134.
- [6] Ходырев В.А. *Применение полиуретана в листоштамповочном производстве*. Пермь, Пермское книжное изд-во, 1973. 218 с.
- [7] Кузнецов А.К., Лозовский И.В., Марьин С.Б. Применение эластосыпучих сред при изготовлении профилей из листовых заготовок. *Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Мат. II Межд. науч.-практ. конф.* Т. 2. Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2022, с. 277–279.
- [8] Марьин С.Б., Лозовский И.В., Кузнецов А.К. и др. *Штамп для свертывания деталей из листовых заготовок*. Патент РФ 215992. Заявл. 02.11.2022, опубл. 12.01.2023.
- [9] Андрианов И.К., Белых С.В., Станкевич А.В. *Основы моделирования процессов формообразования в программе Ram-stamp 2G*. Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2018. 63 с.
- [10] Лозовский И.В., Седунов Я.А. Моделирование процесса формообразования полупатрубка гидрогазовой системы летательного аппарата. *Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Мат. II Межд. науч.-практ. конф.* Т. 2. Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2022, с. 288–291.
- [11] Feoktistov S.I., Soe K.Z. Identification for technological capabilities of titanium and aluminum alloys in deep drawing process. *Solid State Phenom.*, 2020, vol. 299, pp. 628–633, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.628>
- [12] Andrianov I.K., Stankevich A.V. Finite-element model of the shell-shaped half-pipes forming for blanks behavior investigating during corrugating at the stamping. *EastConf*, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725322>
- [13] Mitin O.N., Yakovlev S.S. Computer simulation of the combined operations of crimping, crimping with thinning and back extrusion walled round billets Forging and stamping production. *Forging and Stamping Production. Processing of Materials by Pressure*, 2015, vol. 10, pp. 14–20.
- [14] Кузнецов А.К., Лозовский И.В., Марьин С.Б. Совершенствование технологического процесса гибки листовых заготовок с применением эластичных сред. *Исследования и перспективные разработки в машиностроении. Мат. VII науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов*. Комсомольск-на-Амуре, КнАГУ, 2022, с. 232–236.
- [15] Маценко В.В., Марьин С.Б. Эластичные среды в листовой штамповке. *Страна живет, пока работают заводы. Сб. науч. тр. Межд. науч.-тех. конф.* Курск, Юго-Западный гос. ун-т, 2015, с. 217–222.

## References

- [1] Bratukhin A.G., ed. *Sovremennyye tekhnologii v proizvodstve gazoturbinnnykh dvigateley* [Modern technologies in production gas-turbine engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1997. 410 p. (In Russ.).
- [2] Feoktistov S.I., ed. *Teoriya i praktika izgotovleniya elementov truboprovodov letatelnykh apparatov* [Theory and practice of manufacturing elements of pipelines of aircrafts of aircraft piping elements]. Komsomolsk-na-Amure, KnAGTU Publ., 2013. 88 p. (In Russ.).
- [3] Marin B.N., Makarov K.A., Shport R.V. Manufacturing of high-resource elements of aircraft hydrogas systems. *Aviatsionnaya promyshlennost*, 2007, no. 4, pp. 38–41. (In Russ.).
- [4] Marin B.N., Kim V.A., Sysoev O.E. et al. Defect analysis of operating hydrogasified piping systems. *Uchenye zapiski Komsomolskogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Scientific Notes of Komsomolsk-on-Amour State Technical University], 2017, vol. 1, no. 1, pp. 79–89. (In Russ.).

- [5] Hamin O.N. Approximate estimation of force parameters during stamping by extrusion of hollow blanks. *Modern Materials, Equipment and Technologies*, 2020, vol. 5, no. 32, pp. 128–134.
- [6] Khodyrev V.A. *Primenenie poliuretana v listoshtampovochnom proizvodstve* [Application of polyurethane in sheet metal stamping production]. Perm, Permskoe knizhnoe izd-vo Publ., 1973. 218 p. (In Russ.).
- [7] Kuznetsov A.K., Lozovskiy I.V., Marin S.B. [Application elasto-flowing media in the manufacture of profiles from sheet blanks]. *Nauka, innovatsii i tekhnologii: ot idey k vnedreniyu. Mat. II Mezhd. nauch.-prakt. konf. T. 2* [Science, Innovations and Technologies: from Ideas to Implementation. Proc. II Int. Sci.-Pract. Conf. Vol. 2]. Komsomolsk-na-Amure, KnAGU, 2022, pp. 277–279. (In Russ.).
- [8] Marin S.B., Lozovskiy I.V., Kuznetsov A.K. et al. *Shtamp dlya svertyvaniya detaley iz listovykh zagotovok* [Stamp for folding parts from sheet blanks]. Patent RF 215992. Appl. 02.11.2022, publ. 12.01.2023. (In Russ.).
- [9] Andrianov I.K., Belykh S.V., Stankevich A.V. *Osnovy modelirovaniya protsessov formoobrazovaniya v programme Pam-stamp 2G* [Fundamentals of modelling of forming processes in Pam-stamp 2G software]. Komsomolsk-na-Amure, KnAGU Publ., 2018. 63 p. (In Russ.).
- [10] Lozovskiy I.V., Sedunov Ya.A. Modeling of the process of forming a half-pipe of a hydro-gas system of an aircraft. *Nauka, innovatsii i tekhnologii: ot idey k vnedreniyu. Mat. II Mezhd. nauch.-prakt. konf. T. 2* [Science, Innovations and Technologies: from Ideas to Implementation. Proc. II Int. Sci.-Pract. Conf. Vol. 2]. Komsomolsk-na-Amure, KnAGU Publ., 2022, pp. 288–291. (In Russ.).
- [11] Feoktistov S.I., Soe K.Z. Identification for technological capabilities of titanium and aluminum alloys in deep drawing process. *Solid State Phenom.*, 2020, vol. 299, pp. 628–633, doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.299.628>
- [12] Andrianov I.K., Stankevich A.V. Finite-element model of the shell-shaped half-pipes forming for blanks behavior investigating during corrugating at the stamping. *EastConf*, 2019, doi: <https://doi.org/10.1109/EastConf.2019.8725322>
- [13] Mitin O.N., Yakovlev S.S. Computer simulation of the combined operations of crimping, crimping with thinning and back extrusion walled round billets Forging and stamping production. *Forging and Stamping Production. Processing of Materials by Pressure*, 2015, vol. 10, pp. 14–20.
- [14] Kuznetsov A.K., Lozovskiy I.V., Marin S.B. [Improving the technological process of bending sheet blanks using elastic media]. *Issledovaniya i perspektivnye razrabotki v mashinostroenii. Mat. VII nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh i spetsialistov* [Research and advanced developments in mechanical engineering. Proc. VII Sci.-Pract. Conf. of Young Scientists and Specialists]. Komsomolsk-na-Amure, KnAGU Publ., 2022, pp. 232–236. (In Russ.).
- [15] Matsenko V.V., Marin S.B. [Elastic media in sheet metal stamping]. *Strana zhivet, poka rabotayut zavody. Sb. nauch. tr. Mezhd. nauch.-tekh. konf.* [The country lives as long as the factories work. Proc. Int. Sci.-Tech. Conf.]. Kursk, Yugo-Zapadnyy gos. un-t, 2015, pp. 217–222. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 12.10.2023

## Информация об авторах

**ЛОЗОВСКИЙ Иван Владимирович** — старший преподаватель кафедры «Авиастроение». ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, пр-т Ленина, 27, e-mail: Lozovcky@yandex.ru).

**МАРЬИН Сергей Борисович** — доктор технических наук, заведующий кафедрой «Авиастроение». ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, пр-т Ленина, 27, e-mail: maryinsb@mail.ru).

**ЧЕРНОМАС Вадим Владимирович** — доктор технических наук, профессор кафедры «Теории и методики технологического образования». ФГБОУ ВО «Амурский гуманитарно-педагогический государственный университет» (681000, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, ул. Кирова, д. 17, корп. 2, e-mail: userman10@mail.ru).

**КУЗНЕЦОВ Александр Константинович** — аспирант кафедры «Авиастроение». ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (681013, Комсомольск-на-Амуре, Российская Федерация, пр-т Ленина, 27, e-mail: kuznetsov.ak.98@mail.ru).

## Information about the authors

**LOZOVSKY Ivan Vladimirovich** — Senior Lecturer, Department of Aircraft Engineering. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Komsomolsk-na-Amure State University” (681013, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Lenin Ave., 27, e-mail: Lozovcky@yandex.ru).

**MARYIN Sergey Borisovich** — Doctor of Science (Eng.), Head of the Department of Aircraft Engineering. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Komsomolsk-na-Amure State University” (681013, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Lenin Ave., 27, e-mail: maryinsb@mail.ru).

**CHERNOMAS Vadim Vladimirovich** — Doctor of Science (Eng.), Professor, Department of Theories and Methods of Technological Education. Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Amur State University of Humanities and Pedagogy” (681000, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Kirova St., 17, building 2, e-mail: userman10@mail.ru).

**KUZNETSOV Aleksandr Konstantinovich** — Postgraduate, Department of Aircraft Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Komsomolsk-na-Amure State University” (681013, Komsomolsk-on-Amur, Russian Federation, Lenin Ave., 27, e-mail: kuznetsov.ak.98@mail.ru).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Лозовский И.В., Марьин С.Б., Черномас В.В., Кузнецов А.К. Изготовление трубы свертыванием листовой заготовки. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 12, с. 124–130, doi: 10.18698/0536-1044-2023-12-124-130

### Please cite this article in English as:

Lozovskiy I.V., Maryin S.B., Chernomas V.V., Kuznetsov A.K. Pipe manufacture by sheet blank rolling. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 12, pp. 124–130, doi: 10.18698/0536-1044-2023-12-124-130