



УДК 621.01

DOI 10.17073/0368-0797-2025-3-233-238



Оригинальная статья
Original article

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ДУГОВЫХ ЛИСТОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕТОДОМ СТУПЕНЧАТОЙ ГИБКИ

А. О. Карфидов, Н. А. Чиченев, М. В. Васильев, О. Н. Чиченева

Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (Россия, 119049, Москва, Ленинский пр., 4)

chich38@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы получения тонкостенных деталей с дугообразными элементами для небольших аппаратов и приборов в условиях мелкосерийного или единичного производства с использованием принципов прототипирования, которое в последнее время широко используется для тестирования и оценки идей на самой ранней стадии разработки, а в некоторых случаях и для проверки функционирования прототипа устройства. С учетом требований, предъявляемых к качеству деталей, выбрана технология ступенчатой (пошаговой) гибки, в которой используется множество последовательных *V*-образных изгибов для получения заданной кривизны заготовки. Основной принцип многоступенчатого процесса формовки заключается в замене дуги изгиба многоугольником, каждая сторона которого представляет собой прямолинейный участок листового материала заданной длины, при этом гибка листового металла осуществляется с помощью пуансона малого радиуса. Точность формирования дугового сегмента с помощью полилиний зависит от их количества – чем больше число ступеней изгиба, тем более плавным получается формируемый профиль, но при этом процесс гибки становится более трудоемким и технически сложным. Поэтому от правильного выбора количества ступеней зависят технико-экономические показатели процесса. При таком способе гибки трудно избежать призматической структуры на поверхности заготовки, при этом следы от ступенчатых изгибов будут более заметны на внутренней стороне изгибаемого листового материала по сравнению с внешней стороной. С применением технологии ступенчатой гибки изготовлены различные металлические детали прототипа универсального плазменного низкотемпературного стерилизатора серии Пластер Мед ТеКо, который позволяет быстро, безопасно и эффективно стерилизовать широкий спектр медицинского оборудования. В качестве примера рассмотрено использование технологии ступенчатой гибки листовой заготовки из нержавеющей стали для изготовления тонкостенного бампера двери стерилизатора.

Ключевые слова: тонкостенные детали, дугообразные элементы, прототипирование, ступенчатая гибка, стерилизатор, нержавеющая сталь

Для цитирования: Карфидов А.О., Чиченев Н.А., Васильев М.В., Чиченева О.Н. Изготовление дуговых листовых элементов методом ступенчатой гибки. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2025;68(3):233–238. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-3-233-238>

PRODUCTION OF ARC SHEET ELEMENTS BY STEPPED BENDING METHOD

А. О. Karfidov, N. A. Chichenev, M. V. Vasil'ev, O. N. Chicheneva

National University of Science and Technology “MISIS” (4 Leninskii Ave., Moscow 119049, Russian Federation)

chich38@mail.ru

Abstract. The article considers the issues of obtaining thin-walled parts with arc-shaped elements for small devices and units in small-scale or single production using the principles of prototyping, which has recently been widely used to test and evaluate ideas at the earliest stage of development, and in some cases, to verify the functioning of a prototype device. Taking into account the requirements for the parts quality, the technology of stepped bending is chosen, which uses a set of consecutive *V*-shaped bends to obtain a given curvature of the billet. The basic principle of the multi-stage forming process is to replace the bending arc with a polygon, each side of which is a rectilinear section of sheet material of a given length, while bending the sheet metal using a small-radius punch. The accuracy of forming an arc segment using polylines depends on their number. The greater the number of bending steps, the smoother the profile is formed, but the bending process becomes more laborious and technically complex. Therefore, the technical and economic indicators of the process depend on correct choice of the number of steps. With this bending method, it is difficult to avoid a prismatic structure on the billet surface; in this case, the traces of step bends will be more noticeable on the inside of the bent sheet material compared to the outside. Using stepped bending technology, various metal parts of the prototype of the universal plasma low-temperature sterilizer of *Plaster Med TeCo* series were manufactured, which allows fast, safe and effective sterilization of a wide range of medical equipment. As an example, the use of stepped bending technology of a stainless steel sheet billet for the production of a thin-walled bumper for a sterilizer door is considered.

Keywords: thin-walled parts, arc-shaped elements, prototyping, stepped bending, sterilizer, stainless steel

For citation: Karfidov A.O., Chichenev N.A., Vasil'ev M.V., Chicheneva O.N. Production of arc sheet elements by stepped bending method. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy.* 2025;68(3):233–238. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2025-3-233-238>

ВВЕДЕНИЕ

Дуговые заготовки являются распространенным типом изделий из листового металла для изготовления корпусов различных приборов и изделий [1–3]. Их структура вариативна, а сложность обработки иногда бывает больше, чем у обычных заготовок. На практике для производства заготовок с дугообразными элементами обычно используются два метода формовки [4–6].

- Одноступенчатая формовка с помощью матрицы и пуансона, профили которых соответствуют заданной конфигурации заготовки. Этот метод обычно используется для заготовок сложной формы и его преимуществами являются хорошая точность формовки, гладкая и ровная поверхности заготовки, отсутствие вмятин. Однако стоимость прессового инструмента достаточно высокая, а универсальность использования оставляет желать лучшего. Поэтому его применение эффективно для крупносерийного производства. Обычно данный метод используют в тех случаях, когда одноступенчатый процесс не может быть реализован или к качеству поверхности заготовки предъявляются высокие требования.
- Многошаговая формовка (ступенчатая гибка). Основным ее принцип заключается в преобразовании дуги в отрезок линии, который может быть сформирован с помощью существующего технологического инструмента и оборудования. Диапазон применения данного метода достаточно широк, так как не требуется изготовление матрицы и пуансона под конкретный заказ и поэтому стоимость изготовления заготовок низкая, а качество формовки хорошее.

В статье представлена технология получения радиуса изгиба деталей из листового металла и ее использование для конкретной изогнутой заготовки.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной принцип многоступенчатого процесса формовки заключается в замене дуги изгиба многоугольником, каждая сторона которого представляет собой прямолинейный участок листового материала заданной длины (рис. 1). При этом гибка листового металла осуществляется с помощью пуансона малого радиуса.

Очевидно, что точность формирования дугового сегмента с помощью полилиний зависит от их количества – чем больше число ступеней изгиба, тем более плавным получается формируемый профиль, но при этом процесс гибки становится более трудоемким и технически сложным. Поэтому от правильного выбора количества ступеней зависят технико-экономические показатели процесса. При таком способе гибки трудно избежать призматической структуры на поверх-

ности заготовки. Следует также отметить, что следы от ступенчатых изгибов будут более заметны на внутренней стороне изгибаемого листового материала по сравнению с внешней стороной.

ПРОВЕДЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе¹ рассмотрена процедура замены дуги окружности на сегменты полилиниями и угол изгиба сегментов на примере стальной детали, показанной на рис. 2, для которой внутренний радиус дуги $R = 350$ мм, угол изгиба $\alpha_{\text{изг}} = 120^\circ$, толщина пластины $s = 5$ мм. Поскольку условия использования заготовки удовлетворяют особенностям метода многогибковой

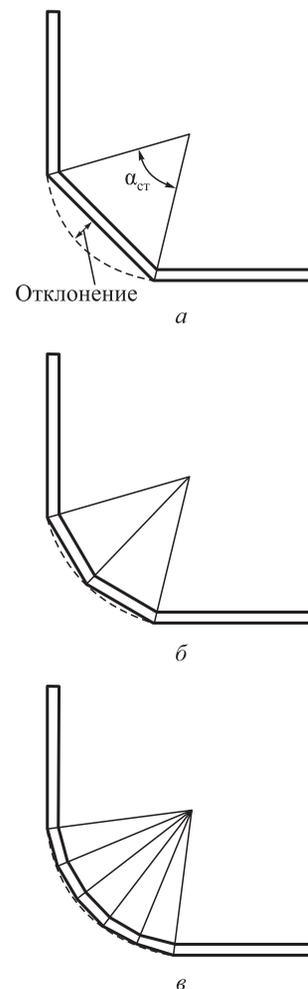


Рис. 1. Формирование радиуса изгиба листового материала методом ступенчатой гибки при числе ступеней $Z_{\text{ст}} = 2$ (а), $Z_{\text{ст}} = 3$ (б) и $Z_{\text{ст}} = 6$ (в); штриховой линией показан заданный круговой профиль изгиба

Fig. 1. Formation of bending radius of sheet material by stepped bending method with the number of steps $Z_{\text{st}} = 2$ (a), $Z_{\text{st}} = 3$ (б) and $Z_{\text{st}} = 6$ (в); dashed line shows the specified circular bending profile

¹ Shane W. Bump Bending for Large Bend Radius in Sheet Metal. URL: <https://www.machinemfg.com/bump-bending/> (дата обращения 21.05.2025).

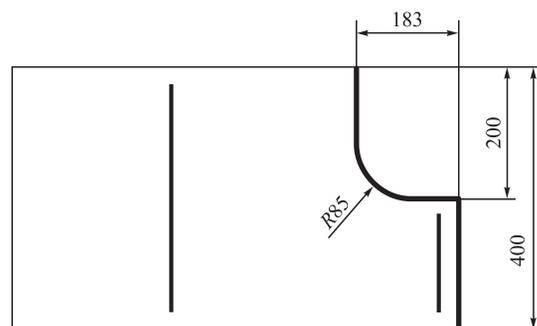
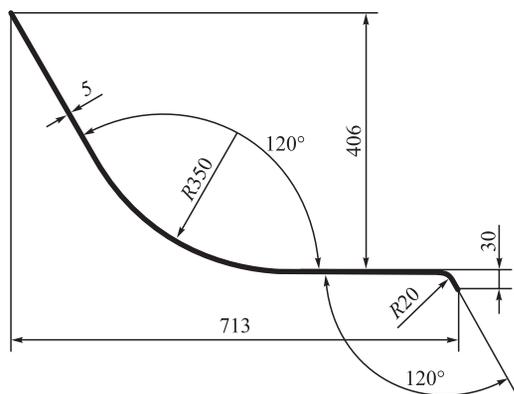


Рис. 2. Пример детали для сегментации дугового изгиба

Fig. 2. Example of a part for segmentation of arc-shaped bend

формовки, для ее обработки использован метод ступенчатой гибки. На основе прошлого опыта формовки и имеющегося в наличии технологического инструмента использован пуансон с радиусом наконечника $r = 120$ мм.

Для осуществления многогибковой формовки криволинейный сегмент (дуга радиусом $R = 350$ мм) разделен на шесть сегментов (ступеней) – полилиний. Опыт изготовления подобных деталей показал, что для обеспечения более плавного перехода дуги в прямоли-

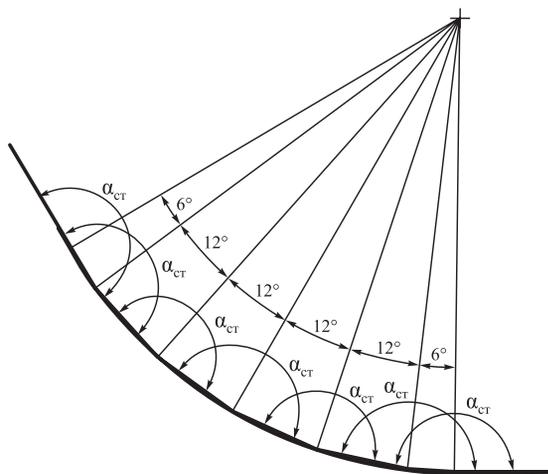


Рис. 3. Сегментация дугового изгиба полилиний (семь изгибов)

Fig. 3. Segmentation of arc-shape bend of polylines (7 bends)

нейный участок заготовки (т. е. на конечных участках криволинейного сегмента) угол ступени целесообразно принимать равным половине угла центральных сегментов. Из рис. 3 видно, что заготовка, показанная на рис. 2, формируется путем изгиба 7 раз, при этом концевые (первый и второй) углы изгиба, соответствующие одной ступени α_{ct} , равны 6° , а остальные (центральные) углы равны 12° . Углы изгиба, соответствующие каждому сегменту (ступеней), равны $\alpha_{ct} \approx 170^\circ$.

Развернутый вид деформируемой заготовки с указанием линий изгиба приведен на рис. 4, а ее аксонометрическое изображение показано на рис. 5.

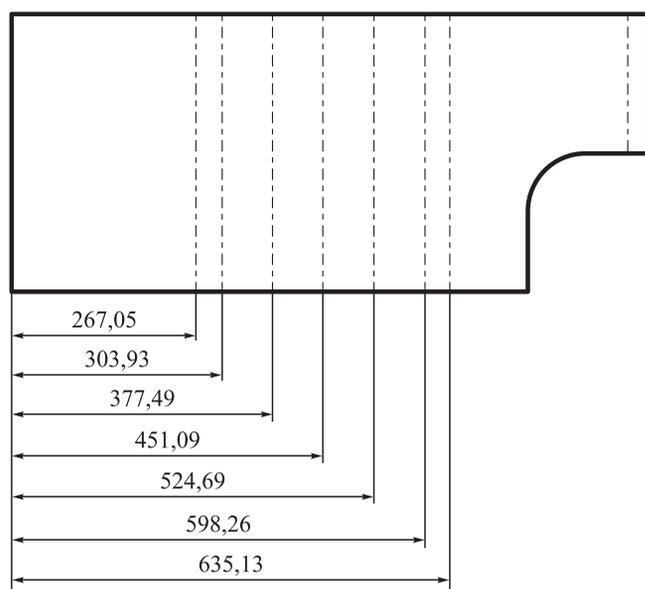


Рис. 4. Развернутый вид деформируемой заготовки с указанием линий изгиба

Fig. 4. Expanded view of the deformable billet with indication of bending lines

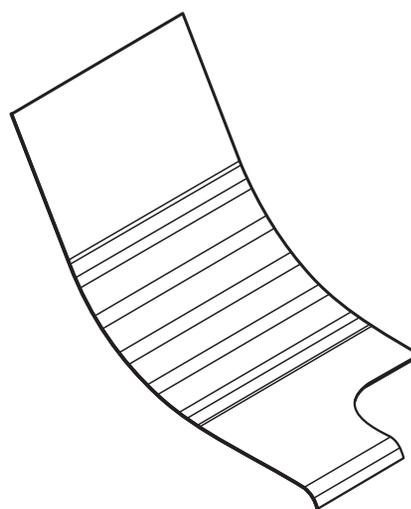


Рис. 5. Аксонометрическое изображение деформируемой заготовки

Fig. 5. Axonometric image of the deformable billet

В различных отраслях народного хозяйства (медицина, фармацевтика, ветеринария, косметология, пищевая промышленность и др.) для стерилизации изделий широко применяются плазменные технологии, которые отличаются универсальностью использования, что позволяет стерилизовать большое разнообразие изделий и материалов [7 – 9]. На практике наибольшее распространение получили стерилизаторы, в которых в качестве активного агента используется ионизированный газ, образующийся при низком давлении – низкотемпературная плазма. В качестве стерилизующего агента обычно применяют пероксид водорода, который подается в рабочую вакуумную камеру, где в результате воздействия на обрабатываемые изделия (материалы) происходит нарушение процессов жизнедеятельности микроорганизмов. Низкотемпературная плазма практически не оказывает влияния на конструкционные материалы, что обеспечивает возможность стерилизации изделий, выполненных из различных материалов (металл, пластик, текстиль и др.). Применение плазменных технологий особенно эффективно для обработки материалов, чувствительных к действию высокой температуры и влаги, а также инструментов и изделий со специальными покрытиями или красками [10 – 12].

С применением технологии ступенчатой гибки изготовлены различные тонкостенные детали прототипа универсального плазменного низкотемпературного стерилизатора серии Пластер Мед ТеКо². В качестве примера использования технологии ступенчатой гибки рассмотрим процесс получения дугообразного сегмента бампера двери стерилизатора, аксонометрическое изображение которого показано на рис. 6, а его продольный разрез на рис. 7. Окончательное качество заготовки при такой формовке зависит от количества

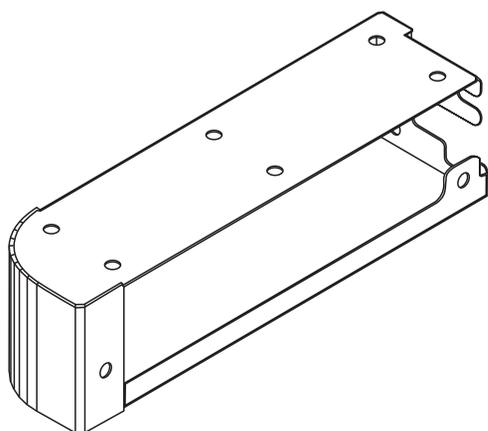


Рис. 6. Аксонометрическое изображение бампера двери стерилизатора

Fig. 6. Axonometric image of the sterilizer door bumper

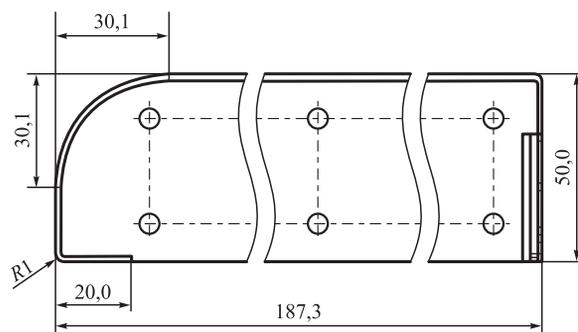


Рис. 7. Продольный разрез чертежа бампера двери стерилизатора, показанного на рис. 6

Fig. 7. Longitudinal section of the sterilizer door bumper drawing shown in Fig. 6

изгибов и шага между ними – чем их больше, тем более гладким будет поверхность изделия. С учетом гигиенических требований, предъявляемых к стерилизатору, в качестве материала заготовки бампера выбрана листовая нержавеющая сталь 12Х18Н10Т (ГОСТ 5949–75) толщиной 1 мм.

В работах [13 – 15] приведены выражения для углов изгиба каждой ступени и разница между полученным ступенчатым профилем в виде полилиний и заданного дугообразного профиля (окружности). С использованием безразмерных (относительных) параметров выведена формула для определения угла изгиба ступени в зависимости от перемещения пуансона, на основе которой сделаны предложения по выбору числа изгибов, необходимого для обеспечения технических требований к профилю данного изделия. Показано, что для деталей, наружные размеры которых должны быть выполнены по качеству $h12$ (ГОСТ 25346–2013), количество ступеней должно быть $Z_{ст} \geq 10$, по качеству $h14 - Z_{ст} \geq 6$.

В рассматриваемом случае с некоторым запасом принято $Z_{ст} = 10$, и поэтому уголгиба, соответствующий одной ступени, $\alpha_{ст} = 9^\circ$. При этом, как сказано выше, для обеспечения более плавного перехода дуги в прямолинейный участок заготовки (т. е. в начале и конце дугообразного сегмента) угол ступени целесообразно принимать равным половине угла центральных сегментов, т. е. на концевых участках $\alpha_{ст} = 4,5^\circ$. Развернутый вид деформируемой заготовки бампера двери с указанием линий изгиба показан на рис. 8.

Выводы

Рассмотрены вопросы изготовления тонкостенных деталей с дугообразными элементами аппаратов и приборов мелкосерийного или единичного производства с применением технологии ступенчатой (пошаговой) гибки, в которой используется множество последовательных V-образных изгибов для получения заданного радиуса заготовки. С применением этой технологии

² Низкотемпературный стерилизатор Пластер Прайм Мед ТеКо. URL: <https://medteco.ru/product/sterilizatsiya/plazmennye-sterilizatory/plaster-praym/> (дата обращения 21.05.2025).

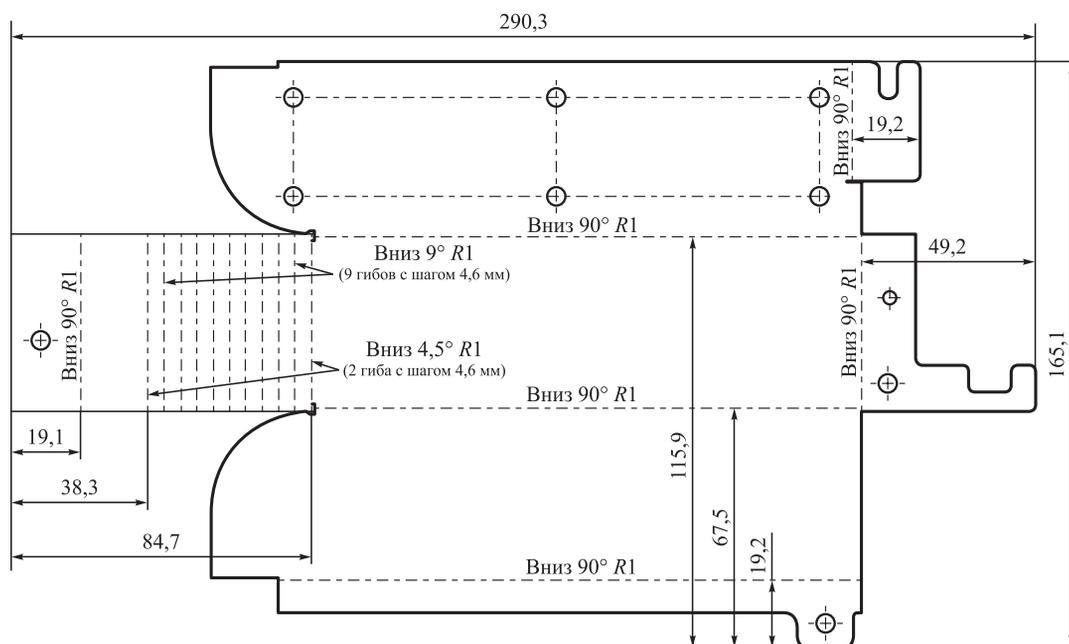


Рис. 8. Развернутый вид деформируемой заготовки бампера двери стерилизатора с указанием линий изгиба

Fig. 8. Expanded view of the deformable billet of the sterilizer door bumper with indication of bending lines

изготовлены различные тонкостенные детали прототипа универсального плазменного низкотемпературного стерилизатора серии Пластер Мед ТеКо. Практическое применение данной технологии рассмотрено на примере получения дугообразного сегмента бампера двери стерилизатора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Каргин В.Р., Каргин Б.В. Теория обработки металлов давлением: Учебное пособие. Самара: Издательство Самарского университета; 2019:112.
2. Бурдуковский В.Г. Технология листовой штамповки: Учебное пособие. Екатеринбург: Издательство УрФУ; 2019:224.
3. Multiscale Modeling in Sheet Metal Forming. Vanabic D. ed. Heidelberg: Springer; 2016:405.
4. Яковлев С.С. Ковка и штамповка. В 4-х томах. Том 4. Листовая штамповка. Москва: Машиностроение; 2010:732.
5. Константинов И.Л., Сидельников С.Б. Кузнечно-штамповочное производство: Учебник. Москва: ИНФРА-М; 2021:464.
6. Benson S. Bending Basics. Cincinnati: Fabricators & Manufacturers Association; 2017:581.
7. Салманов А.Г., Вернер О.М. Стерилизация изделий медицинского назначения. Харьков: ФОП Панов А.М.; 2015:412.
8. Card A.J., Ward J., Clarkson P.J. Successful risk assessment may not always lead to successful risk control: A systematic literature review of risk control after root cause analysis. *Journal of Healthcare Risk Management*. 2012;31(3):6–12. <https://doi.org/10.1002/jhrm.20090>
9. Johna S., Tang T., Saidy M. Patient safety in surgical residency: Root cause analysis and the surgical morbidity and mortality conference – case series from clinical practice. *The Permanente Journal*. 2012;16(1):67–69. <https://doi.org/10.7812/TPP/11-097>
10. Satahira K., Nakasone K. Sterilization effects of HO₂/O₂-radicals produced by H₂O-O₂ plasma. *Journal of Photopolymer Science and Technology*. 2016;29(3):433–438. <https://doi.org/10.2494/photopolymer.29.433>
11. Usta E.O., Ayaz F. Gas plasma hydrogen peroxide (H₂O₂) sterilization. *3rd Advanced Engineering Days*. 2012;3:54–56.
12. Sarangapani C., Patange A., Bourke P., Keener K., Cullen P. Recent advances in the application of cold plasma technology in foods. *Annual Review of Food Science and Technology*. 2018;9:609–629. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030117-012517>
13. Васильев М.В., Карфидов А.О., Свиначев М.Д., Чиченев Н.А. Прототипирование технологии пошаговой гибки тонкостенных корпусов. *Сталь*. 2022;(7):27–29. Vasil'ev M.V., Karfidov A.O., Svinarev M.D., Chichenev N.A. Prototyping technology for step-by-step bending of thin-walled enclosures. *Stal'*. 2022;(7):27–29. (In Russ.).
14. Чиченев Н.А., Карфидов А.О., Васильев М.В., Чиченева О.Н. Определение параметров ступенчатой гибки тонколистового металла. *Черные металлы*. 2024;(1):17–20. Chichenev N.A., Karfidov A.O., Vasil'ev M.V., Chicheneva O.N. Determination of parameters for step-by-step bending of thin sheet metal. *Chernye metally*. 2024;(1):17–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.17580/chm.2024.01.03>
15. Карфидов А.О., Чиченев Н.А., Васильев М.В., Чиченева О.Н. Прототипирование ступенчатой гибки листового металла для изготовления тонкостенных корпусов / *Современные технологии и реверс-инжиниринг: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции*. Севастополь: ФГАОУ ВО «СевГУ»; 2023:220–222.

Сведения об авторах

Information about the Authors

Алексей Олегович Карфидов, заведующий кафедрой инжиниринга технологического оборудования, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

E-mail: a.korf@mail.ru

Николай Алексеевич Чиченев, д.т.н., профессор кафедры инжиниринга технологического оборудования, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

ORCID: 0000-0002-9019-4675

E-mail: chich38@mail.ru

Михаил Владимирович Васильев, старший преподаватель кафедры инжиниринга технологического оборудования, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

E-mail: mv@karfidovlab.com

Ольга Николаевна Чиченева, к.т.н., доцент, Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

E-mail: chich38@mail.ru

Aleksei O. Karfidov, Head of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS”

E-mail: a.korf@mail.ru

Nikolai A. Chichenev, Dr. Sci. (Eng.), Prof. of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS”

ORCID: 0000-0002-9019-4675

E-mail: chich38@mail.ru

Mikhail V. Vasil’ev, Senior Lecturer of the Chair “Engineering of Technological Equipment”, National University of Science and Technology “MISIS”

E-mail: mv@karfidovlab.com

Ol’ga N. Chicheneva, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof., National University of Science and Technology “MISIS”

E-mail: chich38@mail.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

А. О. Карфидов – идея работы, техническое обоснование задач исследования, определение цели и задачи исследования.

Н. А. Чиченев – поиск и анализ публикаций, входящих в наукометрические базы, формирование концепции статьи, подготовка текста.

М. В. Васильев – анализ и обобщение полученных результатов.

О. Н. Чиченева – графическое оформление полученных результатов, окончательное редактирование текста.

A. O. Karfidov – formation of the article idea, technical justification of research objectives, setting goal and objective of research.

N. A. Chichenev – literary review, conceptualization, preparation of the text.

M. V. Vasil’ev – analysis and generalization of results.

O. N. Chicheneva – graphic design of results, final editing of the text.

Поступила в редакцию 27.12.2024

После доработки 22.01.2025

Принята к публикации 18.04.2025

Received 27.12.2024

Revised 22.01.2025

Accepted 18.04.2025