

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТОЧНОСТИ НАСТРОЙКИ ОСЕЙ ЦЕНТРОВАТЕЛЕЙ ПРОШИВНОГО СТАНА НА РАЗНОТОЛЩИННОСТЬ ГИЛЬЗ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ QFORM

М.А. Павлова<sup>1</sup>, Д.Ю. Звонарев<sup>1</sup>, Д.А. Ахмеров<sup>1</sup>, М.А. Зинченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), г. Челябинск, Россия,

<sup>2</sup> АО «Таганрогский металлургический завод» (АО «ТАГМЕТ»), г. Таганрог, Россия

Бесшовные трубы – это разновидность металлопроката, технология производства которого предусматривает отсутствие каких-либо швов по всей длине изделий. Такие сплошные заготовки изготавливаются на специальных прокатных станках. Производство бесшовных труб – сложный процесс, который требует соблюдения всех технических норм. В существующей практике на производстве бесшовных труб особое внимание уделяют соответствию получаемой продукции. При этом чем точнее получаемая труба, тем значительно легче проводить последующие операции, такие как нарезание резьбы, высадка концов и т. д. Одним из способов повышения точности производимых труб является точность выставления осей центрователей, удерживающих оправку относительно оси прошивки заготовки на прошивном стане, а также точность выставления оси на раскатном стане. В данной статье рассматривается влияние настройки осей центрователей на геометрию заготовки, а именно на разнотолщинность. В результате выполнения работы были построены 3D-модели элементов прошивного стана и самой заготовки в программе SolidWorks и спозиционированы относительно друг друга, проведено компьютерное моделирование процесса прошивки в программной среде QForm 2D/3D с различными значениями отклонения осей центрователей от оси прошивки: 0 мм, 2 мм, 5 мм. После получения данных о геометрии заготовки были построены необходимые графики и выполнен сравнительный анализ полученных данных. Выявлены закономерности влияния отклонения осей центрователей от оси прошивки и сделано заключение о допустимом отклонении, при котором заготовка получит необходимую разнотолщинность.

*Ключевые слова:* компьютерное моделирование, QForm, 3-валковый центрователь, разнотолщинность, прошивка.

## Цель работы

В большинстве отраслей производства бесшовных труб первой операцией горячей обработки металлов давлением является прошивка заготовки на стане винтовой прокатки [1]. При этом улучшение процесса прошивки благоприятно влияет на последующие процессы раскатки и редуцирования черновых труб [2].

Полученные в процессе прошивки гильзы должны отвечать следующим требованиям:

- обеспечение необходимой точности геометрических размеров и форм для последующей раскатки;
- отсутствие внутренних и наружных дефектов;
- соблюдение температурного интервала прокатки.

В ходе прошивки на производстве нередко сталкиваются с такими дефектами, как овальность и разнотолщинность заготовки.

Износ применяемого оборудования и прокатного инструмента, а также точность настройки оси центрователей, удерживающих оправку, оказывают влияние на качество готовой продукции [3]. Целью работы является определение влияния точности настройки оси центрователей прошивного стана на дефекты заготовки.

## 1. Компьютерное моделирование

При анализе схемы действия и работы центрователей прошивного стана с дисками Дишера (3D-модель стана представлена на рис. 1) было выявлено, что в зависимости от степени износа роликов центрователей, выставления рычагов центрователей максимальное отклонение оси центрователей от оси прошивки может составлять до 10 мм [4]. Однако на практике такое отклонение является критическим. Поэтому для проведения анализа влияния точности настройки центрователей

на качество получаемых гильз и труб было выполнено компьютерное моделирование процесса прошивки в программной среде QForm [5] с различным выставлением оси оп-

равки со стержнем [6]. Было выбрано 3 значения: 1) с отклонением оси центрователей от оси прошивки на 0 мм; 2) на 2 мм; 3) на 5 мм (рис. 2) [7].

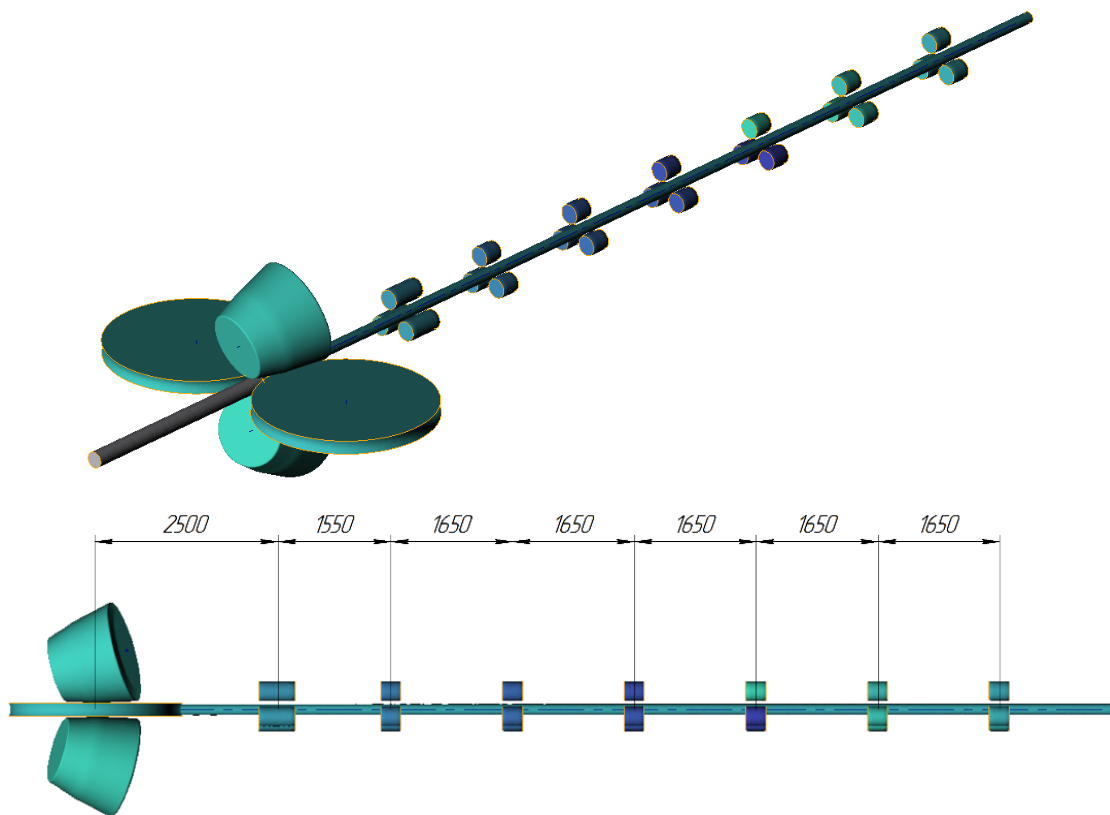


Рис. 1. 3D-модель прошивного стана перед моделированием

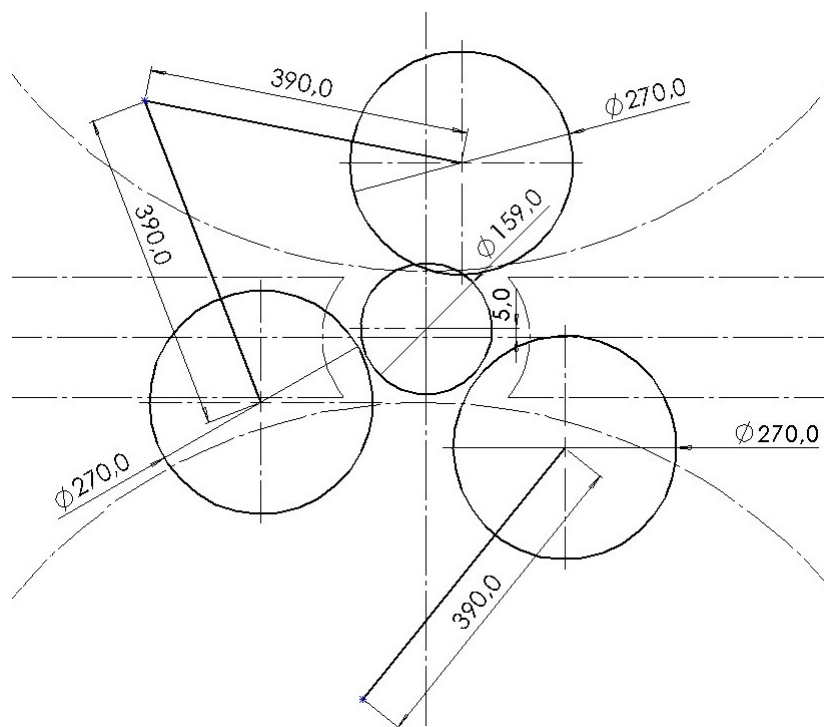


Рис. 2. Схема расположения элементов прошивного стана при отклонении оси центрователей от оси прошивки на 5 мм

## 2. Методика анализа

Заготовка имеет триангулированную форму. Для того чтобы провести обработку полученных в ходе моделирования данных, необходимо найти центры окружности, вписанной на внутреннюю поверхность заготовки, и окружности, описанной около внешней поверхности заготовки, и относительно этого померить овальность и толщину стенки. С помощью пакета прикладных программ MATLAB был проведен сравнительный анализ результатов моделирования [8–11]. Для этого был написан программный код, который разделяет полученную гильзу на равное количество сечений. Их количество составило 700 шт. В каждом сечении производились замеры толщины стенки в 36 точках и овальности в 18 направлениях. По результатам замеров были построены графики зависимости средней толщины стенки и разнотолщинности от расстояния от очага деформации до переднего торца гильзы. Проведен сравнительный анализ [12].

### 2.1. Анализ средней толщины стенки заготовки

На рис. 3 представлен график зависимости средней толщины стенки от расстояния от очага деформации до переднего торца гильзы. На данном графике отчетливо видно, что центрователи, находящиеся в начале выходной

зоны, более существенно влияют на процесс прошивки относительно центрователей, находящихся в конце выходной зоны. Исходя из этого можно предположить, что в момент прошивки выходящая из прошивного стана гильза контактирует с роликами I центрователя наибольшее время и, следовательно, на данных роликах будет наблюдаться повышенный износ относительно роликов центрователей II–VII. Следовательно, правильное выставление оси I центрователя относительно оси прошивки существенно влияет на равномерное получение необходимой толщины стенки гильзы по всей длине.

Чтобы показать влияние центрователей на процесс прошивки и качество получаемой гильзы, а также влияние прошивки на износ центрователей, надо принимать определенные области графиков за диапазоны центрователей [13]. Для этого от расстояния до переднего торца гильзы вычитается расстояние от очага деформации до переднего и заднего торца центрователей. Полученный диапазон и является диапазоном центрователя. I центрователь находится на расстоянии 2500 мм от оси поворота барабана с валком (2255–2745 мм, так как длина роликов I центрователя – 490 мм). Передний торец гильзы на момент получения данных по геометрии гильзы после компьютерного моделирования находился на расстоянии 8000 мм от оси прокатки, следова-

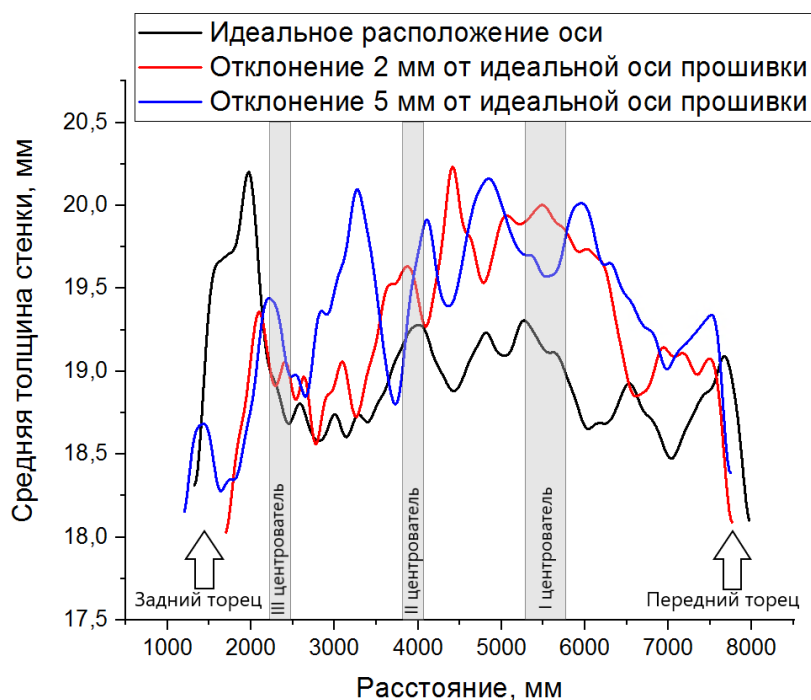


Рис. 3. График зависимости средней толщины стенки от расстояния от очага деформации до переднего торца гильзы

тельно, диапазон I центрователя находится на расстоянии 5255–5745 мм. II центрователь, находится на расстоянии 4050 мм (3915–4185 мм, так как длина роликов II центрователя 270 мм), а III центрователь на расстоянии 5700 мм (5565–5835 мм), следовательно, диапазоны II и III центрователей находятся на расстоянии 3815–4085 мм и 2165–2435 мм соответственно. Взаимное расположение центрователей представлено на рис. 1.

## 2.2. Анализ разнотолщинности стенки заготовки

Так же была вычислена разнотолщинность стенки гильзы. Для этого в каждом сечении из 36 замеров толщины стенки были выбраны максимальное и минимальное значения и найдена их разность [14]. Далее по полученным значениям было найдено отличие разнотолщинности, которая наблюдалась при отклонении осей центрователей от оси прошивки на 2 и 5 мм, от разнотолщинности при строгом совпадении осей в процентах.

По результатам этих вычислений был построен график распределения разнотолщинности по длине гильзы (рис. 4).

Исходя из данных на рис. 4, можно сделать несколько выводов: с самого начала прошивки наблюдается разнотолщинность заготовки, отличающаяся от идеального расположения осей на 4,35 % при отклонении 2 мм и на 9,95 % – при отклонении 5 мм. Далее эти показатели растут и в диапазоне II центрователя достигают значения 49,85 и 60,68 % при отклонениях 2 и 5 мм соответственно. А в диапазоне III центрователя отклонение от разнотолщинности при идеальном расположении оси центрователей относительно оси прошивки достигает 82–85 %, что ведет к ухудшению качества производимой продукции. Данные показатели представлены в таблице. Также при разнотолщинности стенки заготовки наблюдаются «вибрации» и «бие-ния» заготовки об используемое оборудование и инструмент, что может привести к поломкам [15].

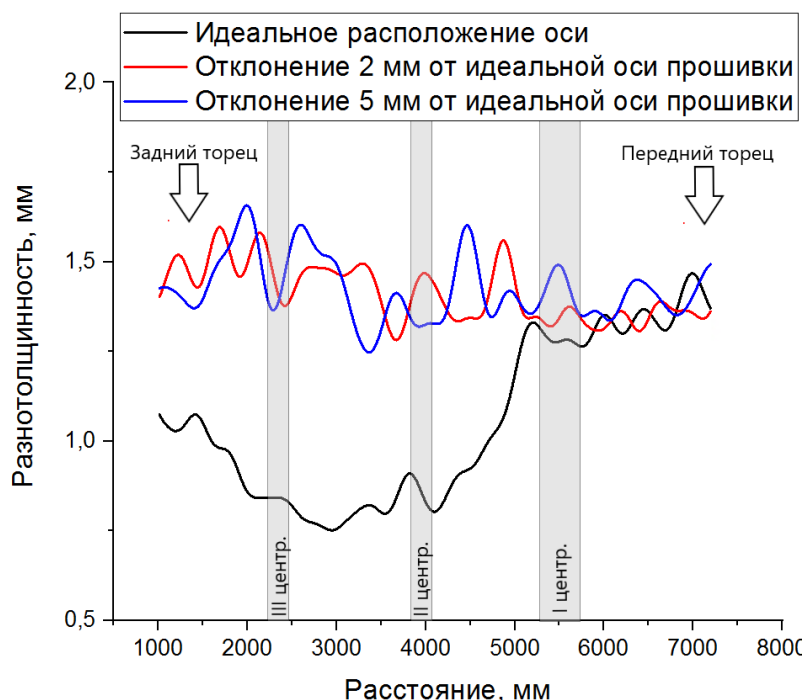


Рис. 4. График зависимости разнотолщинности стенки гильзы от расстояния

Средние значения отклонений 2-го и 3-го испытаний от идеального расположения осей

№ центрователя	Отклонение от номинального значения (среднее значение), %	
	2 мм	5 мм
I	4,35	9,95
II	49,85	60,68
III	81,98	84,93

### Заключение

В ходе выполнения моделирования процесса прошивки на прошивном стане для сортамента труб размерами 159×6 мм в программном комплексе QForm и последующей обработки и анализа полученных данных были выявлены следующие закономерности.

1. Точность выставления оси центрователей относительно оси прошивки оказывает

незначительное влияние на среднюю толщину стенки получаемых гильз.

2. Показатели отклонения от номинального значения разнотолщинности стенки гильзы растут в направлении от очага деформации.

3. Отклонение оси центрователей от оси прошивки приводит к существенному увеличению такого дефекта, как разнотолщинность заготовки.

### Литература

1. Пат. RU 2647393 С1. Способ винтовой прошивки и устройство для его осуществления / В.И. Кузнецов, И.Ю. Пышминцев, А.В. Выдрин, А.А. Кривошеев, А.В. Король. – Заявл. 28.12.2016; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.

2. В. Теоретические основы повышения точности размеров труб при прокатке на непрерывном стане / А.В. Выдрин, В.В. Широков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2011. – № 14 (231). – С. 81–86.

3. Коликов, А.П. Обработка металлов давлением: теория процессов трубного производства: учеб. / А.П. Коликов, Б.А. Романцев, А.С. Алещенко. – М.: Издат. Дом НИТУ «МИСис», 2019. – 502 с.

4. Особенности прошивки заготовок в стане с направляющими дисками / А.В. Гончарук, Ю.В. Гамин, И.К. Шарафаненко, А.С. Алещенко // Технология металлов. – 2020. – № 3. – С. 57–63.

5. Развитие методов математического моделирования процессов деформации в производстве бесшовных труб / А.В. Выдрин, В.В. Широков, К.Ю. Яковлева и др. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. ГИ Носова. – 2016. – Т. 14, № 2. – С. 107–115. DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-2-107-115

6. Богатов, А.А. Компьютерное моделирование процесса прошивки заготовок / А.А. Богатов, Д.Ш. Нухов, В.А. Топоров // Metallurg. – 2017. – № 2. – С. 13–17.

7. Выдрин, А.В. Определение настроечных параметров процесса прошивки на двухвалковых станах винтовой прокатки / А.В. Выдрин, А.В. Король // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016 – Т. 16, № 2 – С. 74–80. DOI: 10.14529/met160211

8. Ferreira, A.J.M. Brief introduction to MATLAB // MATLAB codes for finite element analysis / A.J.M. Ferreira, N. Fantuzzi. – Springer, Cham, 2020. – P. 1–25.

9. Коткин, Г.Л. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB: учеб. пособие для вузов / Г.Л. Коткин, Л.К. Попов, В.С. Черкасский. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во «Юрайт», 2019. – 202 с. – (Университеты России).

10. Lindfield, G.R. Numerical Methods: using MATLAB / G.R. Lindfield, J.E.T. Penny. – Academic Press, 2018. – 608 p.

11. Программный пакет MATLAB. Вычислительные методы и визуализация данных: лабораторный практикум / Ю.Б. Галеркин, А.Ф. Рекстин, Е.Ю. Попова [и др.]. – СПб.: Политехпресс, 2020.

12. Звонарев, Д.Ю. Анализ влияния профиля направляющего инструмента прошивного стана на разнотолщинность получаемых гильз / Д.Ю. Звонарев, В.Л. Нерозников, К.В. Трубников // Труды-2018. – 2018. – С. 102–105.

13. Исследование влияния различных факторов на качество гильз посредством компьютерного моделирования / В.Г. Шеркунов, А.А. Корсаков, Е.В. Храмков и др. // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2016. – № 6. – С. 59–63.

14. Пат. RU 2638468 С1. Способ винтовой прошивки заготовки / Б.Г. Пьянков, А.Г. Пьянков, В.А. Топоров и др. – № 2016134489; заявл. 23.08.2016; опубл. 13.12.2017.

15. Рахманов, С.Р. Параметрическая идентификация виброактивности механизма удержания стержня оправки прошивного стана / С.Р. Рахманов // Системні технології. – 2016. – № 4. – С. 102–112.

**Павлова Маргарита Александровна**, старший инженер лаборатории моделирования технологических процессов, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), г. Челябинск; Pavlova@rosniti.ru.

**Звонарев Дмитрий Юрьевич**, канд. техн. наук, заведующий лабораторией технологических процессов, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), г. Челябинск; Zvonarev@rosniti.ru.

**Ахмеров Денис Альфредович**, младший научный сотрудник лаборатории моделирования технологических процессов, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), г. Челябинск; AhmerovDA@rosniti.ru.

**Зинченко Максим Андреевич**, помощник мастера по ремонту, АО «Таганрогский металлургический завод» (АО «ТАГМЕТ»), г. Таганрог; ZinchenkoMA@tagmet.ru.

*Поступила в редакцию 20 августа 2021 г.*

DOI: 10.14529/met210407

## QFORM-BASED RESEARCH HOW THE ACCURACY SETTINGS OF PIERCING MILL CENTERING UNITS AXIS INFLUENCES HOLLOW SHELL THICKNESS

*M.A. Pavlova<sup>1</sup>, Pavlova@rosniti.ru,  
D.Yu. Zvonarev<sup>1</sup>, Zvonarev@rosniti.ru,  
D.A. Akhmerov<sup>1</sup>, AhmerovDA@rosniti.ru,  
M.A. Zinchenko<sup>2</sup>, ZinchenkoMA@tagmet.ru*

<sup>1</sup> *The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC), Chelyabinsk, Russian Federation,*

<sup>2</sup> *Taganrog Metallurgical Plant JSC (TAGMET JSC), Taganrog, Russian Federation*

Seamless pipes are a type of rolled metal, the production technology of which provides for the absence of any seams along the entire length of the products. These solid blanks are made on special rolling machines. The production of seamless pipes is a complex process that requires compliance with all technical standards. In the current practice in the production of seamless pipes, special attention is paid to the conformity of the resulting products. Moreover, the more accurate the resulting pipe, the easier it is to carry out subsequent operations such as threading, end upsetting, etc. One of the ways to increase the accuracy of the pipes being produced is the accuracy of alignment of the centering axes that hold the mandrel relative to the axis of the blank piercing on the piercing mill, as well as the accuracy of aligning the axis on the rolling mill. This article discusses the effect of adjusting the centering axes on the geometry of the workpiece, namely on the thickness difference. As a result of the work, 3D models of the elements of the piercing mill and the workpiece itself were built in the SolidWorks software and positioned relative to each other, computer modeling of the piercing process was carried out in the QForm 2D/3D software environment with different values of the deviation of the centering axes from the piercing axis: 0 mm, 2 mm, 5 mm. After obtaining data on the geometry of the workpiece, the necessary graphs were built and a comparative analysis of the data obtained was performed. The regularities of the influence of the deviation of the centering axes from the piercing axis were revealed and a conclusion was made about the permissible deviation at which the workpiece would receive the necessary thickness variation.

*Keywords: computer simulation, QForm, 3-roll centering, thickness variation, firmware.*

### References

1. Kuznetsov V.I., Pyshmintsev I.Yu., Vydrin A.V., Krivosheyev A.A., Korol' A.V. *Sposob vintovoy proshivki i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [The method of screw piercing and the device for its implementation]. Patent RU 2647393 C1, 2018.
2. Vydrin A.V., Shirokov V.V. Basic Theory of Improvement of Pipe Dimensions Precision during Rolling in Mandrel Mill. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2011, no. 14 (231), pp. 81–86. (in Russ.)
3. Kolikov A.P., Romantsev B.A., Aleshchenko A.S. *Obrabotka metallov davleniyem: teoriya protsessov trubnogo proizvodstva: ucheb.* [Metal forming by pressure: theory of pipe production processes: textbook]. Moscow, NUST MISiS Publishing House, 2019. 502p.
4. Goncharuk A.V., Gamin Yu.V., Sharafanenko I.K., Aleshchenko A.S. Features of piercing of billets on mill with guide discs. *Metal technology*, 2020, no. 3, pp. 57–63. (in Russ.)
5. Vydrin A.V., Shirokov Vy.Vy., Yakovleva K.Yu., Zinchenko A.V., Korol' A.V. Development of mathematical modelling techniques to simulate deformation processes in seamless pipe production. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*, 2016, vol. 14, no. 2, pp. 107–115. DOI: 10.18503/1995-2732-2016-14-2-107-115
6. Bogatov A.A., Nukhov D.Sh., Toporov V.A. Computer simulation of billets' piercing at screw rolling. *Metallurgist*, 2017, no. 2, pp. 13–17. (in Russ.)
7. Vydrin A.V., Korol' A.V. Determination of Setting Parameters of Screw Insertion on Two-Roll Mills. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 74–80. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160211
8. Ferreira A.J.M., Fantuzzi N. Brief introduction to MATLAB. In *MATLAB codes for finite element analysis*. Springer, Cham, 2020, pp. 1–25.
9. Kotkin G.L., Popov L.K., Cherkasskiy V.S. *Komp'yuternoye modelirovaniye fizicheskikh protsessov s ispol'zovaniyem MATLAB: ucheb. posobiye dlya vuzov* [Computer modeling of physical processes using MATLAB]. Moscow, Yurayt Publ., 2019. 202 p.
10. Lindfield G.R., Penny J.E.T. *Numerical methods: using MATLAB*. Academic Press, 2018. 608 p.
11. Galerkin Yu.B., Rekstin A.F., Popova E.Yu. et al. *Programmnyy paket MATLAB. Vychislitel'nyye metody i vizualizatsiya dannykh: laboratornyy praktikum* [MATLAB software package. Computational methods and data visualization: laboratory practice]. St. Petersburg, Politekh-press, 2020.
12. Zvonarev D.Yu., Neroznikov V.L., Trubnikov K.V. [Analysis of the influence of the profile of the guiding tool of the sewing mill on the thickness of the received cases]. *Pipes-2018*, 2018, pp. 102–105. (in Russ.)
13. Sherkunov V.G., Korsakov A.A., Khramkov E.V., Niklyayev A.V., Ul'yanov A.G. The Investigation into the Influences of the Different Factors on the Quality of the Cupped Blanks by Means of the Computer-Aided Modeling. *Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information*, 2016, no. 6, pp. 59–63. (in Russ.)
14. P'yankov B.G., P'yankov A.G., Toporov V.A. et al. *Sposob vintovoy proshivki zagotovki* [Method of screw piercing of the blank]. Patent RU 2638468 C1, 2017.
15. Rakhmanov S.R. [Parametric identification of vibroactivity of the mechanism for holding the mandrel rod of the piercing mill]. *System technologies*, 2016, no. 4, pp. 102–112. (in Russ.)

Received 20 August 2021

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Исследование влияния точности настройки осей центрователей прошивного стана на разнотолщинность гильз с использованием QForm / М.А. Павлова, Д.Ю. Звонарев, Д.А. Ахмеров, М.А. Зинченко // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2021. – Т. 21, № 4. – С. 56–62. DOI: 10.14529/met210407

### FOR CITATION

Pavlova M.A., Zvonarev D.Yu., Akhmerov D.A., Zinchenko M.A. QForm-Based Research How the Accuracy Settings of Piercing Mill Centering Units Axis Influences Hollow Shell Thickness. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2021, vol. 21, no. 4, pp. 56–62. (in Russ.) DOI: 10.14529/met210407