



УДК 601.77

DOI 10.17073/0368-0797-2024-1-106-111



Оригинальная статья

Original article

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КАЛИБРОВКИ ВХОДНОГО КОНУСА ВАЛКОВ И ЛИНеек ПРОШИВНОГО СТАНА С ГРИБОВИДНЫМИ ВАЛКАМИ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О. А. Панасенко¹, А. О. Халезов², Д. Ш. Нухов² ¹ АО «Северский трубный завод» (Россия, 623388, Свердловская обл., Полевской, ул. Вершинина, 7)² Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (Россия, 620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

dnukhov@mail.ru

Аннотация. Процесс винтовой прошивки заготовки – это процесс со сложным циклическим характером течения металла в очаге деформации. Настройка инструмента деформации и его калибровка, а также точность подачи заготовки и выдачи гильзы из очага деформации оказывают существенное влияние на качество гильзы: точность размеров и наличие дефектов на внутренней и наружной поверхности гильзы. В работе предложено техническое решение повышения стабильности ведения процесса прошивки непрерывнолитой заготовки на станах винтовой прокатки. Реализация идеи предполагает применение усовершенствованной калибровки инструмента прошивного стана. Для обеспечения центровки заготовки и стабильной ее подачи по оси прокатки прошивного стана предложено добавить на входном конусе валка специальное его утолщение (гребень), а на линейке изменить калибровку входного ее участка с целью более ранней встречи заготовки с валками – до первичного захвата валками заготовки, т. е. до начала деформации валками металла непрерывнолитой заготовки. Для проверки и корректировки предлагаемого решения были поставлены и решены задачи конечно-элементного моделирования процесса винтовой прошивки с измененной конструкцией грибовидного валка и линейки. Решение задач осуществлялось в программном комплексе QForm 3D. Результаты конечно-элементного моделирования показали, что применение усовершенствованной калибровки инструмента позволяет улучшить центровку заготовки и обеспечить стабильную ее подачу по оси прокатки прошивного стана. За счет этого удается снизить биение заготовки в очаге деформации и тем самым снизить усилие на валках с 8 до 5 МН. Результаты замеров геометрических параметров гильз, полученные при помощи конечно-элементного моделирования, показали незначительные относительные отклонения, которые укладываются в нормативные пределы.

Ключевые слова: винтовая прошивка, точность размеров гильз, энергосиловые параметры процесса, компьютерное моделирование, твердотельная модель, стабильность процесса прошивки, МКЭ-моделирование

Для цитирования: Панасенко О.А., Халезов А.О., Нухов Д.Ш. Исследование эффективности изменения калибровки входного конуса валков и линеек прошивного стана с грибовидными валками с помощью компьютерного моделирования. *Известия вузов. Черная металлургия.* 2024;67(1):106–111. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-1-106-111>

INVESTIGATING EFFECTIVENESS OF CHANGING CALIBRATION OF INPUT CONE OF ROLLS AND LINES OF A PIERCING MILL WITH TAPERED ROLLS USING COMPUTER MODELING

O. A. Panasenko¹, A. O. Khalezov², D. Sh. Nukhov² ¹ JSC “Severskii Tube Steelworks” (7 Verшинina Str., Polevskoi, Sverdlovsk Region 623388, Russian Federation)² Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (19 Mira Str., Yekaterinburg 620002, Russian Federation)

dnukhov@mail.ru

Abstract. Screw piercing of a workpiece is a process with complex cyclical nature of metal flow in deformation center. Setting up the deformation tool and its calibration, as well as the accuracy of the workpiece feed and release of the hollow billet from deformation zone, have a significant impact on the

quality of the hollow billet: dimensional accuracy and presence of defects on its inner and outer surface. In the paper, a technical solution was proposed to increase the stability of piercing a continuously cast workpiece on screw rolling mills. Implementation of the idea involves the use of an improved calibration of the piercing mill tool. For both in order to achieve the workpiece alignment and its stable feeding along rolling axis of the piercing mill, it was proposed to add a special thickening (hump) on the roll input cone and to change calibration of its input section on the ruler in order to meet the workpiece with the rolls earlier: before the initial capture of the workpiece by the rolls, that is, before deformation of metal of the continuously cast workpiece by the rolls. To check and correct the proposed solution, the tasks of FEM-modeling of screw piercing process with a modified design of the tapered roll and ruler were set and solved using the QForm 3D software package. Results of the finite element modeling (FEM) showed that the use of improved tool calibration makes it possible to improve the alignment of the workpiece and ensure its stable position along the rolling axis of the piercing mill, thereby reducing the runout of the workpiece in the deformation center and thereby reducing the force on the rolls from 8 to 5 MN. The results of measurements of the hollow billets' geometric parameters obtained by FEM showed insignificant relative deviations that fit within the regulatory limits.

Keywords: screw piercing, size accuracy of hollow billet, process power parameters, computer modeling, solid-state model, piercing stability, FEM

For citation: Panasenko O.A., Khalezov A.O., Nukhov D.Sh. Investigating the effectiveness of changing calibration of input cone of rolls and lines of a piercing mill with tapered rolls using computer modeling. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2024;67(1):106–111.

<https://doi.org/10.17073/0368-0797-2024-1-106-111>

ВВЕДЕНИЕ

При производстве горячедеформированных бесшовных труб операция формоизменения сплошной в исходном состоянии заготовки в полуку гильзу является особо ответственной [1 – 3]. Наиболее эффективным, как с точки зрения производительности, так и с точки зрения точности геометрии гильзы, является способ винтовой прошивки непрерывнолитых заготовок (НЛЗ) на косовалковых станах [4 – 6]. Процесс винтовой прокатки является современным и перспективным, но и одновременно – это очень сложный процесс [7; 8]. Сложность обуславливается особенностью течения металла в очаге деформации [9; 10]. При винтовой прокатке одновременно происходят вращение и перемещение заготовки в осевом направлении, а также радиальное обжатие ее валками [2]. Поэтому считается, что процесс винтовой прокатки – это процесс с неопределенными граничными условиями и циклическим характером деформации [5]. Настройка инструмента деформации и его калибровка, а также точность подачи заготовки и выдачи гильзы из очага деформации оказывают существенное влияние на ее качество, т. е. на точность размеров и наличие дефектов на внутренней и наружной поверхностях гильзы [11 – 14].

ОСОБЕННОСТЬ ПОДАЧИ ЗАГОТОВКИ В ПРОШИВНОЙ СТАН И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ГИЛЬЗЫ

Общеизвестно, что для стабильного ведения процесса прошивки на косовалковых станах достаточным является выполнение условий первичного и вторичного захвата, а также условия надежного окончания процесса прошивки при выдаче гильзы из валков стана [1 – 3]. Однако на практике захват осуществляется с большим трудом. В работе [3] показано, что для обеспечения поступательного и вращательного движения заготовки при первичном ее захвате валками необходимо действие внешнего осевого усилия, приложенного к заднему торцу заготовки. При этом вталкивающее усилие должно воздействовать на заготовку, пока ее окружная

скорость не достигает своего критического значения, при котором наступает осевое втягивание металла в валки, а скорость и усилие вталкивателя заготовки в валки должны быть минимальными [3].

В тоже время, заготовка при первичном захвате ее валками прошивного стана имеет значительную степень свободы, так как входная проводка изготавливается с установленным допуском по внутреннему диаметру и имеет износ рабочей поверхности, по которой перемещается заготовка (рис. 1). В конечном итоге вышеописанные моменты приводят к увеличению разностенности и овальности переднего конца гильзы [14 – 16]. Представленное на рис. 1 явление отклонения заготовки от оси прокатки может быть больше, если имеется кривизна самой НЛЗ, наплыв или «борода» на ее переднем торце.

Таким образом, стабильность прошивки на неустановившейся стадии процесса связана, с одной стороны, с нарушением требуемого режима подачи заготовки, а с другой – с несовершенством существующих подающих устройств.

Для обеспечения центровки заготовки и стабильной ее подачи по оси прокатки прошивного стана фирмы ЭЗТМ, в цехе ТПЦ-1 АО «Северский трубный завод» (СТЗ) было предложено добавить на входном

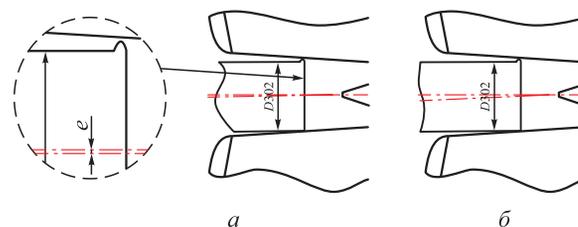


Рис. 1. Отклонение заготовки от оси прокатки при первичном захвате: эксцентриситет осей заготовки и прокатки (а); угол наклона заготовки (б)

Fig. 1. Misalignment of the workpiece from rolling axis during the primary capture: eccentricity of axes of the workpiece and rolling (a); angle of the workpiece inclination (b)

конусе валка специальное его утолщение (гребень), а на линейке изменить калибровку входного ее участка с целью более ранней встречи заготовки с валками – до первичного захвата валками заготовки, т. е. до начала деформации валками металла НЛЗ.

Для этого на входном конусе валка выполняется дополнительный конусный участок длиной от торца валка до точки первичного захвата валками стана заготовки, который параллелен оси прокатки (при развороте валков на требуемый угол раскатки и подачи) и служит для удержания заготовки по центру очага деформации прошивного стана ЭЗТМ с целью обеспечения стабильности первичного захвата заготовки валками (рис. 2).

ПРОВЕРКА ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ВИНТОВОЙ ПРОШИВКИ В СТАНЕ С ГРИБОВИДНЫМИ ВАЛКАМИ

Для проверки и корректировки предлагаемого решения были поставлены и решены задачи МКЭ-моделирования процесса винтовой прошивки в косовалком стане с измененной конструкцией грибовидного валка и линейки. Решение задач осуществлялось в программном комплексе QForm 3D. Применение современных программных комплексов Q-Form позволяет выявить закономерности формоизменения заготовки в очаге деформации при винтовой прошивке и оценить точность размеров гильзы [17].

Для постановки задач была создана твердотельная модель прошивного стана в программе САД-моделирования – КОМПАС-3D. Построение твердотельных моделей валков, линейек и оправки про-

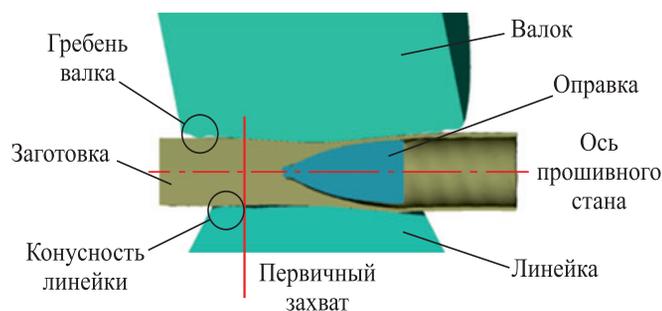


Рис. 2. Очаг деформации при прошивке заготовки в валках с гребнем на входном участке

Fig. 2. Center of deformation during piercing of the workpiece in rolls with a hump on the input section

шивного стана фирмы ЭЗТМ, также настройка технологического инструмента соответствовали технологической инструкции АО «СТЗ». Для моделирования был использован тип заготовок диаметром $d_3 = 290$ мм. Позиционирование инструмента проводилось, исходя из принятых на производстве технологических параметров настройки прошивного стана (см. таблицу).

При постановке задач были введены следующие допущения.

- Длина заготовки – 1000 мм.
- Материал заготовки – сплошной, изотропный, несжимаемый, сталь марки AISI 1045 (аналог стали 45), определяющие соотношения для которой имеются в базе данных программы QForm 3D.
- Температура заготовки в соответствии с техническими условиями 1200 °С, температура рабочего инструмента 50 °С.

• На поверхностях контакта заготовки с инструментом задан закон трения по Зибелю: $\tau = \psi \tau_s$, где τ – напряжение трения, МПа; ψ – показатель трения; τ_s – сопротивление деформации материала на сдвиг. Показатель трения на контактной поверхности с валками принят равным 0,8, с оправкой и линейкой – 0,4 [5].

Данные допущения необходимы для ускорения расчета, они не оказывают значимого влияния на цель исследования. Твердотельная модель процесса прошивки заготовки и начальная стадия процесса в программе QForm 3D представлены на рис. 3.

Результаты решения задач в программе QForm 3D позволили установить следующие положительные моменты применения усовершенствованной калибровки инструмента:

- обеспечен устойчивый первичный захват заготовки валками стана;
- значительное обжатие заготовки в очаге деформации не приводит к раннему вскрытию внутренней полости НЛЗ;
- обеспечивается стабильный вторичный захват с отсутствием биения заготовки в очаге деформации.

В ходе разработки калибровки произведен расчет оптимальных параметров входного конуса валков и линейек (рис. 4).

Правильность выбранной калибровки подтверждает график усилия на валки прошивного стана (рис. 5).

Применение усовершенствованной калибровки инструмента позволяет свести к минимуму биения заготовки по оси прошивки, что подтверждается значительным снижением усилия прошивки (рис. 5). На гра-

Параметры настройки прошивного стана

Settings of the piercing mill

Расстояние между валками, мм		Выдвижение оправки за пережим валков, мм	Угол, град		Частота вращения валков, об/мин
валками, мм	линейками, мм		подачи	раскатки	
253	286	100	9,5	12	30

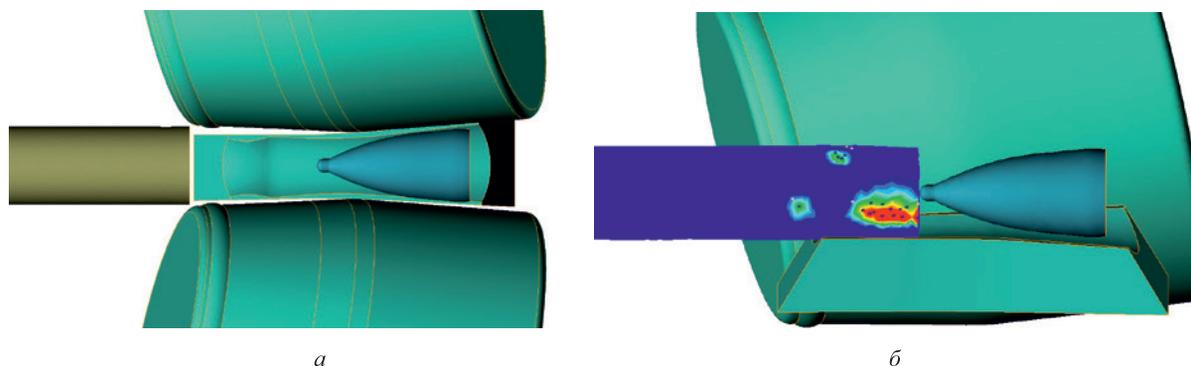


Рис. 3. Твердотельная модель процесса прошивки заготовки (а) и демонстрация стабильности первичного захвата и накопления деформации при прошивке в валках с гребнем (б) в программе QForm 3D

Fig. 3. Solid-state model of the workpiece piercing (a) and the initial stage of piercing process in rolls with a hump (b) in QForm 3D program

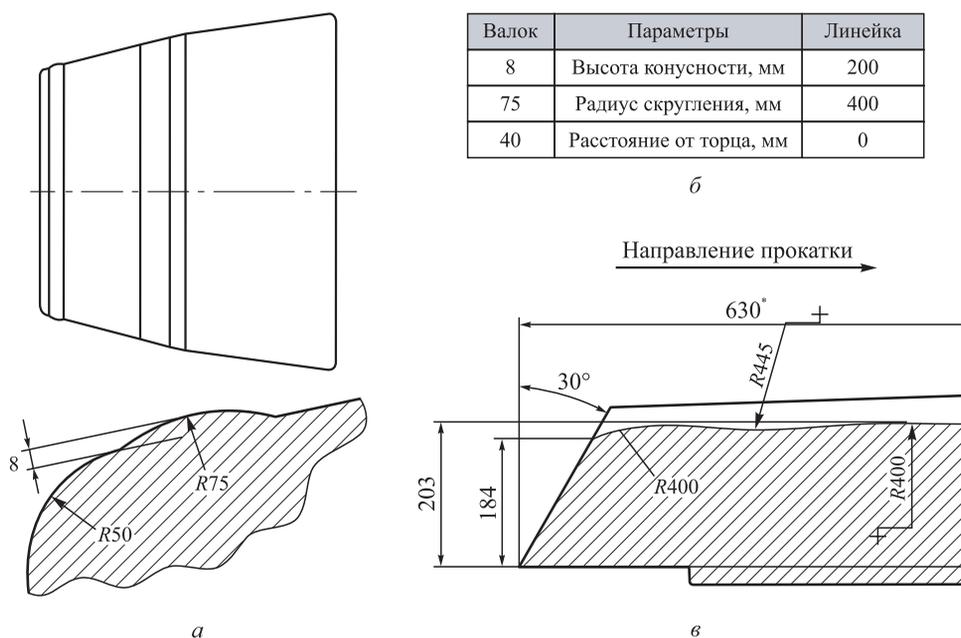


Рис. 4. Параметры гребня на валке и линейки: чертеж валка с гребнем (а); основные параметры (б); чертеж линейки с конусностью (в)

Fig. 4. Parameters of the hump on the roll and ruler: drawing of the roll with a hump (a); main parameters (b); drawing of the ruler with a taper (в)

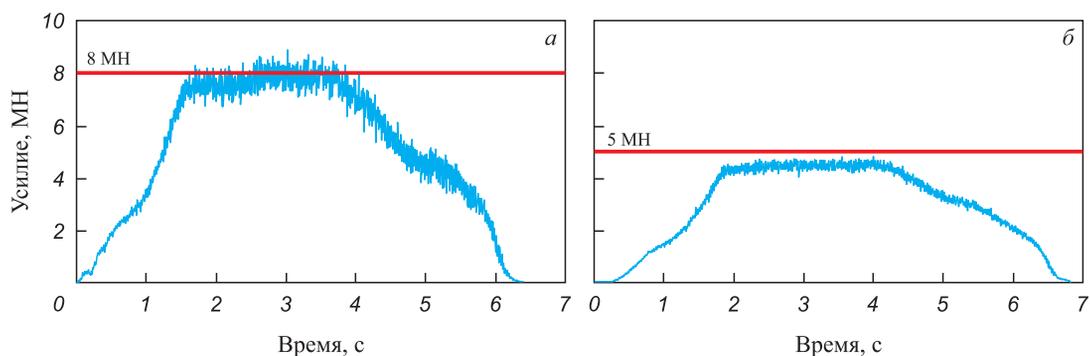


Рис. 5. Графики усилия на валки прошивного стана при компьютерном моделировании: базовая модель (а); модель с измененной калибровкой (б)

Fig. 5. Graphs of force on the piercing mill rolls during computer modeling: basic model (a); model with modified calibration (b)

фиках видно, что прошивка заготовки с усовершенствованной калибровкой инструмента дает возможность снизить усилие на валках с 8 до 5 МН.

Результаты замеров геометрических параметров гильз, полученные при помощи конечно-элементного моделирования, показали незначительные относительные отклонения:

– по среднему наружному диаметру не превышает 0,8 % (при нормативном допуске ± 1 %);

– по толщине стенки не превышает 1,4 % (при нормативном допуске ± 5 %).

Заготовки с усовершенствованной калибровкой валка и линейки прошли успешное испытание на прошивном стане фирмы ЭЗТМ и на данный момент применяются для получения гильз в цехе № 1 АО «СТЗ».

Выводы

В работе предложено техническое решение повышения стабильности ведения процесса прошивки НЛЗ на станах винтовой прокатки. Для обеспечения центровки заготовки и стабильной ее подачи по оси прокатки прошивного стана предложено добавить на входном конусе валка специальное его утолщение (гребень), а на линейке изменить калибровку входного ее участка с целью более ранней встречи заготовки с валками – до первичного захвата валками заготовки, т. е. до начала деформации валками металла НЛЗ.

Для проверки и корректировки предлагаемого решения были поставлены и решены задачи МКЭ-моделирования процесса винтовой прошивки в косовалковом стане с измененной конструкцией грибовидного валка и линейки.

Результаты МКЭ-моделирования показали, что применение усовершенствованной калибровки инструмента позволяет свести к минимуму биение заготовки в очаге деформации, за счет чего удается снизить усилие на валках с 8 до 5 МН. Результаты замеров геометрических параметров гильз, полученные при помощи конечно-элементного моделирования, показали незначительные относительные отклонения, которые укладываются в нормативные пределы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Потапов И.Н. Теория трубного производства. Москва: Металлургия; 1991:424.
2. Данилов Ф.А. Горячая прокатка и прессование труб. Москва: Металлургия; 1972:591.
3. Тегерин П.К. Теория поперечной и винтовой прокатки. Москва: Металлургия; 1983:270.
4. Осадчий В.Я. Производство и качество стальных труб: Учебное пособие для вузов. Москва: Издательство МГУПИ; 2012:370.
5. Богатов А.А. Винтовая прокатка непрерывно-литых заготовок из конструкционных марок стали: Учебное пособие. Екатеринбург: Издательство УрФУ; 2017:164.
6. Wei Z., Wu C. A new analytical model to predict the profile and stress distribution of tube in three-roll continuous retained mandrel rolling. *Journal of Materials Processing Technology*. 2022;302:117491. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2022.117491>
7. Gamin Yu.V., Galkin S.P., Romantsev B.A., Koshmin A.N., Goncharuk A.V., Kadach M.V. Influence of radial-shear rolling conditions on the metal consumption rate and properties of D16 aluminum alloy rods. *Metallurgist*. 2021; 65(5-6):650–659. <https://doi.org/10.1007/s11015-021-01202-0>
8. Topa A., Kim D.K., Kim Y. 3D numerical simulation of seamless pipe piercing process by fluid-structure interaction method. *MATEC Web of Conferences*. 2018;203:06016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820306016>
9. Романцев Б.А., Скрипаленко М.М., Чан Ба Хюи, Скрипаленко М.Н., Гладков Ю.А., Гартвиг А.А. Компьютерное моделирование прошивки заготовок в четырехвалковом стане винтовой прокатки. *Металлург*. 2017;(9):19–24. Romantsev B.A., Skripalenko M.M., Ba Huy Tran, Skripalenko M.N., Gladkov Yu.A., Gartvig A.A. Computer simulation of piercing in a four-high screw rolling mill. *Metallurgist*. 2018:61(9–10):729–735. <http://doi.org/10.1007/s11015-018-0556-7>
10. Skripalenko M.M., Rogachov S.O., Romantsev B.A., Bazhenov V.E., Skripalenko M.N., Danilin A.V. Microstructure and hardness of hollow tube shells at piercing in two-high screw rolling mill with different plugs. *Materials*. 2022;15(6):2093. <https://doi.org/10.3390/ma15062093>
11. Nguyen Q., Aleshchenko A.S. Research on the mandrel wear of a screw rolling piercing mill by the finite element method. *Key Engineering Materials*. 2022;910:381–387. <https://doi.org/10.4028/p-4m4o75>
12. Goncharuk A.V., Fadeev V.A., Kadach M.V. Seamless pipes manufacturing process improvement using mandreling. *Solid State Phenomena*. 2021;316:402–407. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.316.402>
13. Ротенберг Ж.Я., Будников А.С. Модернизация технологии винтовой прокатки в многовалковом стане. *Известия вузов. Черная металлургия*. 2022;65(1):28–34. <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-1-28-34> Rotenberg Zh.Ya., Budnikov A.S. Modernization of screw rolling technology in a multi-roll mill. *Izvestiya. Ferrous Metallurgy*. 2022;65(1):28–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/0368-0797-2022-1-28-34>
14. Павлова М.А., Звонарев Д.Ю., Ахмеров Д.А. Исследование влияния точности настройки осей центрователей прошивного стана на разнотолщинность гильз с использованием QFORM. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Металлургия*. 2021;(4):56–62. Pavlova M.A., Zvonarev D.Yu., Akhmerov D.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. Series: Metallurgy*. 2021;(4):56–62. (In Russ.).
15. Галкин С.П., Алещенко А.С., Романцев Б.А., Гамин Ю.В., Исхаков Р.В. Влияние предварительной деформации непрерывнолитых заготовок радиально-сдвиговой про-

каткой на структуру и свойства горячекатаных труб из хромосодержащих сталей. *Металлург.* 2021;65(2):54–61.

Galkin S.P., Aleshchenko A.S., Romantsev B.A., Gamin Yu.V., Iskhakov R.V. Effect of preliminary deformation of continuously cast billets by radial-shear rolling on the structure and properties of hot-rolled chromium-containing steel pipes. *Metallurgist.* 2021;65(1–2):9–12.

<https://doi.org/10.1007/s11015-021-01147-4>

16. Пат. 2578887 RU. *Способ получения полых гильз на прошивном стане* / Топоров В.А., Толмачев В.С., Пьянков Б.Г., Бушин Р.О., Панасенко О.А., Ибрагимов П.А.; заявл. 30.09.2014; опубл. 27.03.2016.

Toporov V.A., Tolmachev V.S., P'yankov B.G., Bushin R.O., Panasenko O.A., Ibragimov P.A. *Method of obtaining hollow sleeves on a sewing mill.* Patent RF no. 2578887. МПК В21В19/04. *Bulleten' izobretenii.* 2016;(33). (In Russ.).

17. Топоров В.А., Степанов А.И., Панасенко О.А., Ибрагимов П.А. Применение конечно-элементного моделирования для совершенствования процесса прошивки на прошивном стане. *Металлург.* 2014;58(7):28–31.

Toporov V.A., Stepanov A.I., Panasenko O.A., Ibragimov P.A. Use of finite-element modeling to improve the piercing operation on a piercing mill. *Metallurgist.* 2014; 58(7–8):563–567. <http://doi.org/10.1007/s11015-014-9954-7>

Сведения об авторах

Information about the Authors

Олег Александрович Панасенко, начальник трубопрокатной лаборатории научно-исследовательского центра, АО «Северский трубный завод»

E-mail: PanasenkoOA@stw.ru

Александр Олегович Халезов, аспирант кафедры «Обработка металлов давлением», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

E-mail: alekssanja633@mail.ru

Данис Шамильевич Нухов, к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

E-mail: d.s.nukhov@urfu.ru

Oleg A. Panasenko, Head of the Pipe Rolling Laboratory of the Research Center, JSC “Severskii Tube Steelworks”

E-mail: PanasenkoOA@stw.ru

Aleksandr O. Khalezov, Postgraduate of the Chair “Metal Forming”, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

E-mail: alekssanja633@mail.ru

Danis Sh. Nukhov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Prof. of the Chair “Metal Forming”, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

E-mail: d.s.nukhov@urfu.ru

Вклад авторов

Contribution of the Authors

О. А. Панасенко – формулировка задачи для проведения исследований, разработка технического решения по изменению калибровки входного конуса валков и линеек прошивного стана, планирование вычислительного эксперимента.

А. О. Халезов – разработка калибровки инструментов прошивного стана, постановка и решение задачи конечно-элементного моделирования процесса винтовой прошивки с измененной конструкцией грибовидного валка и линейки, проведение замеров геометрических параметров гильз.

Д. Ш. Нухов – обработка результатов экспериментов, оформление материалов статьи, анализ литературы по тематике статьи, формулировка выводов.

O. A. Panasenko – formulation of the research task, developing a technical solution for changing calibration of input cone of rolls and lines of a piercing mill, planning of a computational experiment.

A. O. Khalezov – development of calibration of piercing mill tools, formulation and solution of the problem of FEM of the screw piercing process with a modified design of tapered roll and ruler, measuring the geometric parameters of hollow billets.

D. Sh. Nukhov – processing the experimental results, design of the article, literary review, formulation of conclusions.

Поступила в редакцию 06.04.2023
После доработки 15.01.2024
Принята к публикации 22.01.2024

Received 06.04.2023
Revised 15.01.2024
Accepted 22.01.2024