

# Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением Metal forming. Technology and equipment of metal forming

Научная статья  
УДК 621.774.352  
DOI: 10.14529/met260105

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ ГИЛЬЗ В СТАНЕ ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ С КОРОТКОЙ ОПРАВКОЙ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СТЕПЕНИ ТОНКОСТЕННОСТИ ГИЛЬЗЫ НА ПРОЦЕСС РАСКАТКИ

*П.Н. Нифантьев*<sup>1, 2</sup>, [NifantevPN@tmk-group.com](mailto:NifantevPN@tmk-group.com)  
*И.К. Фарукшин*<sup>1, 2</sup>, [ilya.farukshin@tmk-group.com](mailto:ilya.farukshin@tmk-group.com)  
*И.Н. Черных*<sup>1</sup>, [ChernykhIN@tmk-group.com](mailto:ChernykhIN@tmk-group.com)

<sup>1</sup> ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия

<sup>2</sup> Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

**Аннотация.** Известны станы продольной прокатки труб с короткой оправкой, в частности автоматические станы. Наиболее характерными проблемами для данной технологии являются разнотолщинность получаемого раската и дефекты внутренней поверхности раската, в частности риски. Решению указанных проблем посвящено большое количество работ. При этом с появлением новых методов исследований, например компьютерного моделирования, появляются новые возможности для изучения особенностей процесса продольной прокатки труб. В статье представлены результаты исследования процесса раскатки гильз с разной степенью их тонкостенности в автоматическом стане продольной прокатки на короткой оправке с использованием программы QForm. На основании данных компьютерного моделирования рассмотрены факторы, способствующие возникновению повышенной разнотенности получаемого раската и дефектов внутренней поверхности.

**Ключевые слова:** производство труб, бесшовные трубы, трубопрокатный агрегат, автоматический стан, компьютерное моделирование, короткая оправка, износ инструмента

**Для цитирования:** Нифантьев П.Н., Фарукшин И.К., Черных И.Н. Моделирование процесса раскатки гильз в стане продольной прокатки труб с короткой оправкой с целью определения влияния степени тонкостенности гильзы на процесс раскатки // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2026. Т. 26, № 1. С. 34–40. DOI: 10.14529/met260105

Original article  
DOI: 10.14529/met260105

## SIMULATION OF THE PROCESS OF ROLLING CASINGS IN A LONGITUDINAL ROLLING MILL WITH A SHORT MANDREL TO DETERMINE THE INFLUENCE OF THE THICKNESS OF THE CASING ON THE PROCESS OF ROLLING

*P.N. Nifantev*<sup>1, 2</sup>, [NifantevPN@tmk-group.com](mailto:NifantevPN@tmk-group.com)  
*I.K. Farukshin*<sup>1, 2</sup>, [ilya.farukshin@tmk-group.com](mailto:ilya.farukshin@tmk-group.com)  
*I.N. Chernykh*<sup>1</sup>, [ChernykhIN@tmk-group.com](mailto:ChernykhIN@tmk-group.com)

<sup>1</sup> TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia

<sup>2</sup> South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

**Abstract.** Longitudinal tube rolling mills with short mandrels are well known, particularly automatic mills. The most typical problems associated with this technology include wall thickness variation (uneven wall thickness) of the resulting rolled product and internal surface defects, such as scoring or scratching.

© Нифантьев П.Н., Фарукшин И.К., Черных И.Н., 2026

Numerous studies have been dedicated to solving these issues. With the emergence of new research methods, such as computer simulation, novel opportunities have arisen for investigating the specific characteristics of the longitudinal tube rolling process. This paper presents a study on the rolling process of hollow shells with varying degrees of thin-walledness in an automatic longitudinal tube rolling mill equipped with a short mandrel, using the QForm software. Based on the results of numerical simulations, factors contributing to increased wall thickness variation and internal surface defects in the final product have been analyzed.

**Keywords:** pipe production, seamless pipes, tube rolling unit, automatic mill, computer modeling, short mandrel, tool wear

**For citation:** Nifantev P.N., Farukshin I.K., Chernykh I.N. Simulation of the process of rolling casings in a longitudinal rolling mill with a short mandrel to determine the influence of the thickness of the casing on the process of rolling. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*. 2026;26(1):34–40. (In Russ.) DOI: 10.14529/met260105

## Введение

В производстве бесшовных горячедеформированных труб широко используются различные ТПА с непрерывными, автоматическими, речными, пилигримовыми станами. Наиболее высокими показателями производительности, уровнем автоматизации и качеством готовых труб характеризуются ТПА с непрерывными станами [1].

В свою очередь ТПА с автоматическими станами демонстрируют более низкие значения упомянутых показателей, в отличие от расходного коэффициента металла (РКМ), для которого, наоборот, требуется пристальное внимание. Соответственно, задачи минимизации и устранения разнотолщинности и дефектов внутренней поверхности получаемого раската [2, 3], напрямую влияющих на РКМ, являются актуальными при производстве труб на таких ТПА. Одним из основных видов дефектов внутренней поверхности, образующихся при раскатке гильзы в автоматическом стане на короткой оправке, является риска [4].

В работе [5] были определены следующие предпосылки для возникновения рисков внутренней поверхности труб:

- использование изношенной короткой оправки;
- раскатка гильз со степенью тонкостенности  $D_r/S_r$  свыше 14,2;
- несоответствие внутреннего диаметра гильзы диаметру короткой оправки (параметр  $\delta d_r$ ):

$$\delta d_r = \frac{D_r - 2S_r - D_{оп}}{D_r - 2S_r} \cdot 100 \%,$$

где  $D_r$ ,  $S_r$  – номинальные наружный диаметр и толщина стенки гильзы;

$D_{оп}$  – диаметр пояска короткой оправки.

Рациональные значения параметра  $\delta d_r$  находятся в диапазоне от –0,5 % до +1,0 %.

В этой связи можно предположить следующее:

– при прокатке гильзы с внутренним диаметром, меньшим диаметра пояска оправки, увеличивается площадь контакта металла с оправкой, а следовательно, возрастает сопротивление оправки продольному истечению металла, вследствие чего увеличивается истечение металла в зону выпусков калибра, в которой формируются участки с утолщенной стенкой. При раскатке утолщенных участков во втором проходе автоматического стана могут образоваться риски: вследствие неблагоприятной деформации участков – «прикатанная» риска; вследствие интенсификации износа оправки (так как деформация утолщенных участков увеличивается);

– при прокатке гильзы с внутренним диаметром, большим диаметра пояска оправки, уменьшается площадь контакта металла с оправкой. Деформация реализуется на меньшей поверхности оправки, что может способствовать ее более интенсивному износу и /или налипанию металла на поверхность оправки с дальнейшим образованием рисков на внутренней поверхности труб.

Увеличение брака по риске при использовании более тонкостенных гильз может быть связано с уменьшением температуры раскатки, так как тонкостенные гильзы быстрее остывают. При раскатке гильз с меньшей температурой может интенсифицироваться износ коротких оправок автоматического стана.

## Моделирование

С целью исследования заявленных факторов проведено компьютерное моделирование процесса продольной прокатки труб на автоматическом стане. С учетом ограничивающих параметров исследуемой технологии рассмот-

Таблица 1

Исходные данные для моделирования раскатки гильз при производстве труб диаметром 102 мм

Table 1

Initial data for modeling of rolling out of sleeves during production of pipes with diameter 102 mm

Параметр	Значения параметров		
	1	2	3
Модель	1	2	3
Наружный диаметр гильзы $D_r$ , мм	141		
Толщина стенки гильзы $S_r$ , мм	8	11	14
Степень тонкостенности гильзы $D_r/S_r$	17,6	12,8	10,1
Диаметр оправки автоматического стана, мм	118	112	106
Межвалковый зазор, мм	4		

рим такой вариант моделирования, при котором изменяющимся параметром является  $D_r/S_r$ . Исходные данные для моделирования представлены в табл. 1.

При моделировании валки и оправка принимались как абсолютно жесткие тела, размеры инструмента и параметры очага деформации не изменялись. Гильза принималась идеальных размеров по всей длине в соответствии с табл. 1.

Для оценки износа инструмента использована численная модель, основанная на касательных напряжениях в контакте между оправкой и гильзой. В расчетах применялась модель износа по модулю wear\_traction в среде QForm, реализующая модифицированную

версию уравнения Арчарда, в которой глубина износа определяется по следующей зависимости [6]:

$$W_\tau = \int_0^t \frac{K_\tau \cdot \tau \cdot V_\tau}{\sigma} dt,$$

где  $W_\tau$  – износ инструмента от касательных напряжений;

$K_\tau$  – эмпирические коэффициенты;

$t$  – время контакта заготовки с инструментом, с;

$\tau$  – касательные напряжения в точке контакта заготовки с инструментом, МПа;

$V_\tau$  – скорость проскальзывания узла заготовки относительно инструмента, мм/с.

Распределение толщины стенки в поперечном сечении раскатов показано на рис. 1.

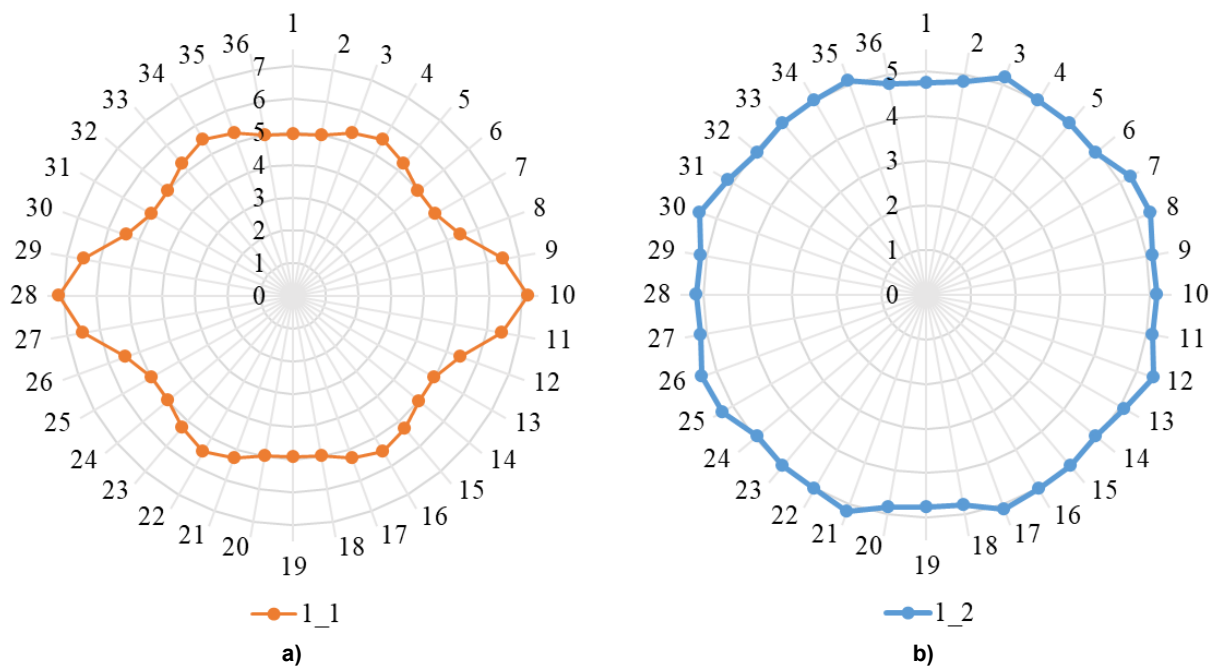


Рис. 1. Распределение толщины стенки в поперечном сечении раската при раскатке гильзы размерами 141 × 8 мм в раскат размерами 128 × 5 мм: а – проход 1; б – проход 2  
Fig. 1. Distribution of wall thickness in the cross section of the roll when rolling a 141 × 8 mm sleeve into a 128 × 5 mm roll: a – pass 1; b, – pass 2

Характеристики формоизменения гильзы при раскатке в автоматическом стане приведены в табл. 2, 3.

Из рис. 1 видно, что наиболее утолщенные участки при обоих проходах наблюдаются в зонах уширительного кармана используемой калибровки валков (рис. 2), за исключением уширения в зоне выпуска при первом проходе, что характерно для техно-

логии раскатки гильзы в автоматическом стане. Подобный характер распределения толщины стенки наблюдается при всех вариациях  $D_r/S_r$ . Наиболее явно данное распределение металла в очаге деформации (поперечное сечение) наблюдается при варианте с более тонкостенной гильзой. Характеристики точности толщины стенки представлены в табл. 2.

Характеристики точности толщины стенки раската

Таблица 2

Accuracy characteristics of wall thickness

Table 2

Модель	Максимальная толщина стенки $S_{\max}$ , мм	Минимальная толщина стенки $S_{\min}$ , мм	Средняя толщина стенки $S_{\text{сред}}$ , мм	Относительная разнотолщинность $\delta S$ , %	Разнотолщинность $\Delta S$ , мм
1_1	7,17	4,94	5,44	41,06	2,23
1_2	5,41	4,75	5,06	13,04	0,66
2_1	10,79	8,00	8,55	32,58	2,79
2_2	8,52	7,79	8,17	8,88	0,73
3_1	13,88	10,93	11,54	25,55	2,95
3_2	11,68	10,79	11,21	7,95	0,89

Характеристики точности диаметра раската

Таблица 3

Accuracy characteristics of the rolled diameter

Table 3

Модель	Ширина калибра $B_k$ , мм	Диаметр максимальный (по линии разреза) $D_{\max}$ , мм	Диаметр минимальный $D_{\min}$ , мм	Овальность раската $D_{\max}/D_{\min}$	Переполюснение калибра $D_{\max}/B_k$
1_1	135,50	134,29	128,00	1,05	0,99
1_2	135,50	129,09	128,00	1,01	0,95
2_1	135,50	133,72	128,00	1,04	0,99
2_2	135,50	129,03	128,00	1,01	0,95
3_1	135,50	133,57	128,00	1,04	0,99
3_2	135,50	129,08	128,00	1,01	0,95

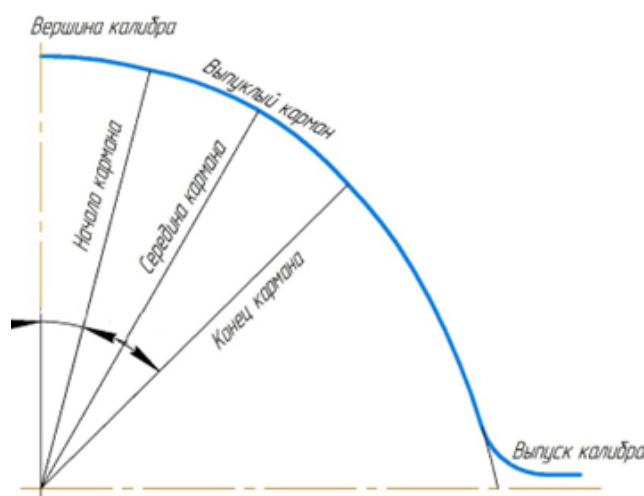


Рис. 2. Калибровка валков при моделировании  
Fig. 2. Calibration of rolls during modeling

При анализе характера формоизменения толщины стенки из табл. 2 видно, что с уменьшением степени тонкостенности гильзы наблюдается увеличение абсолютной разнотолщинности раската:

$$D_r/S_r - 10,1 < 12,8 < 17,6;$$

$$\Delta S \text{ после 1 прохода, мм} - 2,23 < 2,79 < 2,95;$$

$$\Delta S \text{ после 2 прохода, мм} - 0,66 < 0,73 < 0,89.$$

Это происходит вследствие меньшего утонения стенки в выпуске калибра при прокатке более толстостенных гильз как в первом, так и во втором проходах.

В табл. 3 представлены характеристики точности диаметра раската.

Из табл. 3 видно, что степень тонкостенности гильзы не влияет на овальность раската и перепополнение калибра.

Максимальные значения износа короткой оправки показаны на рис. 3.

По рис. 3 можно судить, что тенденция по уменьшению износа короткой оправки соответствует уменьшению степени тонкостенности гильзы.

Для определения характера износа короткой оправки при 1-м и 2-м проходе в автоматическом стане рассмотрен вариант раскатки наиболее тонкостенной гильзы (рис. 4).

Наиболее интенсивный износ оправки ав-

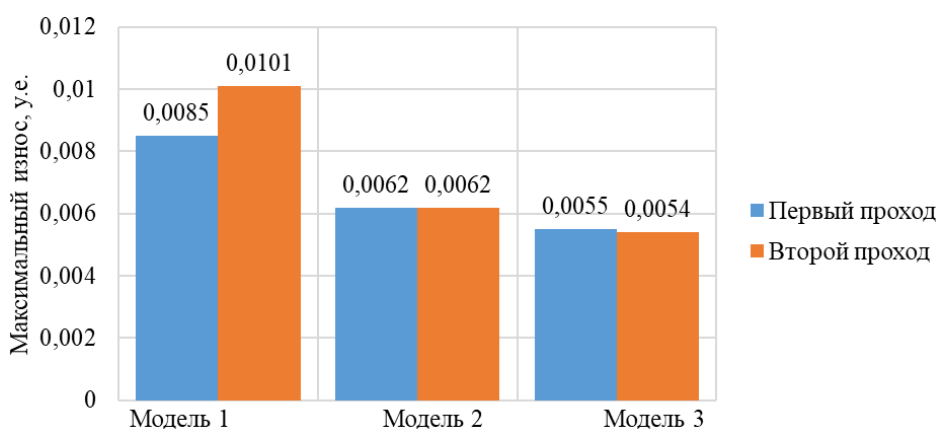


Рис. 3. Максимальная величина износа на короткой оправке  
 Fig. 3. Maximum wear rate on the short mandrel

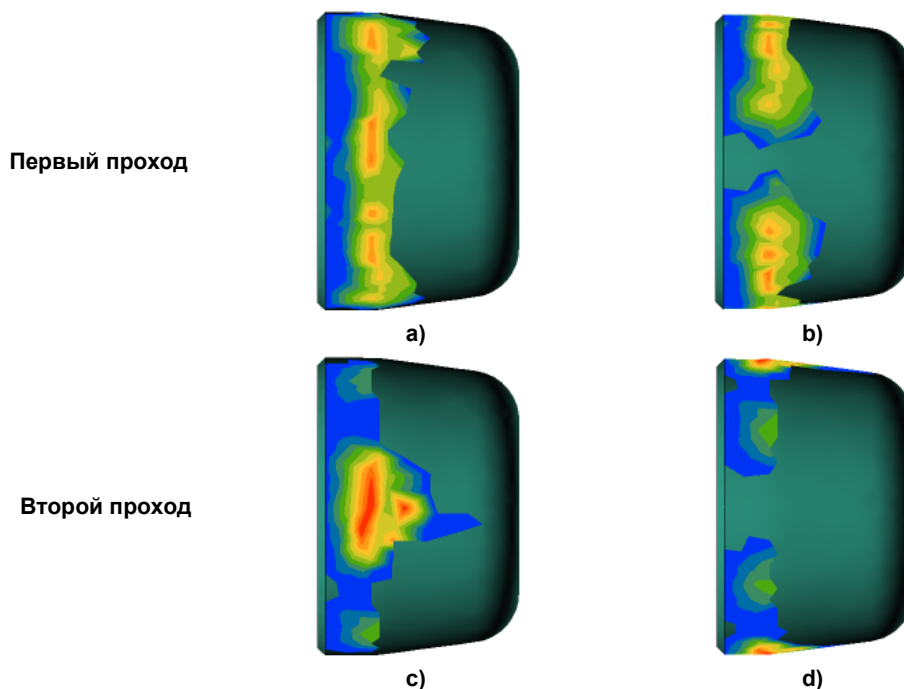


Рис. 4. Характер износа на оправке при раскатке гильзы размером 141×8 мм в раскат размером 128×5 мм: а, б – вид сверху; с, д – вид сбоку  
 Fig. 4. Wear pattern on the mandrel when rolling a 141×8 mm sleeve into a 128×5 mm sleeve: a, b – top view; c, d – side view

томатического стана при обоих проходах происходит в области перехода от конусной части к цилиндрическому участку (см. рис. 4).

В первом проходе наибольшая интенсивность износа фиксируется на переходе от конической к цилиндрической части как в вершине калибра, так и в зонах, приближенных к выпуску (рис. 4а, б). При этом площадь поверхности износа увеличивается к выпускам калибра.

Во втором проходе наибольшая интенсивность износа оправки фиксируется в зоне вершины калибра (рис 4с, d), что объясняется попаданием в эту зону большего количества металла после первого прохода.

### Заключение

При компьютерном моделировании было изучено формирование геометрических пара-

метров раската, а также уточнен характер износа коротких оправок при раскатке гильз в калибре автоматического стана. Оценка полученных результатов показала:

– с уменьшением степени тонкостенности гильзы абсолютная разнотолщинность стенки получаемого раската увеличивается, что связано с меньшей величиной утонения стенки в зоне выпусков калибра;

– износ оправки происходит неравномерно, наиболее интенсивный износ оправки происходит в зоне при первом проходе, соответствует переходу от конической к цилиндрической части, а также выпуску калибра (за счет увеличения площади поверхности износа) и вершине калибра второго прохода (за счет раскатки утолщенного участка металла).

### Список литературы

1. Реализация расчетно-аналитического метода нормирования расхода металла при производстве бесшовных горячедеформированных труб в условиях АО «ТАГМЕТ» / А.В. Выдрин, Д.Н. Лысов, Е.Н. Кондратьев, А.А. Пузиков // Черные металлы. 2022. № 9 (1089). С. 26–31. DOI: 10.17580/chm.2022.09.04

2. Освоение производства насосно-компрессорных труб на агрегате 140 с двумя клетями продольной прокатки / В.Я. Остренко, В.И. Гетало, В.Я. Кармазин, С.И. Ивченко // Производство труб для нефтяной и газовой промышленности: темат. отрасл. сб. М.: Metallurgiya, 1981. С. 8–13.

3 Данченко В.Н., Чус А.В. Продольная прокатка труб. М.: Metallurgiya, 1984. 136 с.

4. Чуев А.А., Данченко В.Н. Пути решения проблем повышения качества поверхности труб, прокатываемых на ТПА-140 с двухклетевым станом продольной прокатки // Metallургическая и горнорудная промышленность. 2012. № 3. С. 49–53.

5. Исследование факторов образования дефектов внутренней поверхности труб, возникающих в раскатных станах с короткой оправкой / И.Н. Черных, П.Н. Нифантьев, К.В. Больных, А.В. Кузнецов // Metallург. 2025. № 1. С. 67–71.

6. Конечно-элементное моделирование технологических процессовковки и объемной штамповки: учеб. пособие / А.В. Власов, С.А. Стебунов, С.А. Евсюков и др. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. 383 с.

### References

1. Vydrin A.V., Lysov D.N., Kondratiev E.N., Puzikov A.A. Implementation of the calculation and analytical method for rationing metal consumption in the production of seamless hot-formed pipes at JSC TAGMET. *Chernye metally*. 2022;9(1089):26–31. (In Russ.) DOI: 10.17580/chm.2022.09.04

2. Ostrenko V.Ya., Getalo V.I., Karmazin V.Ya., Ivchenko S.I. [Development of tubing production on unit 140 with two-stand longitudinal rolling mill]. In: *Production of Pipes for the Oil and Gas Industry. Thematic Sectoral Collection*. Moscow: Metallurgiya, 1981. P. 8–13. (In Russ.)

3. Danchenko V.N., Chus A.V. *Prodol'naya prokatka trub* [Longitudinal pipe rolling]. Moscow: Metallurgiya, 1984. 136 p. (In Russ.)

4. Chuev A.A., Danchenko V.N. Solutions to the problems of improving pipe surface quality when rolling on the TPA-140 two-stand longitudinal mill. *Metallurgical and Mining Industry*. 2012;(3):49–53. (In Russ.)

5. Chernykh I.N., Nifantsev P.N., Bolnykh K.V., Kuznetsov A.V. Study of factors causing internal surface defects in pipes formed in stretch-reducing mills with short mandrels. *Metallurg*. 2025;(1):67–71. (In Russ.)

6. Vlasov A.V., Stebunov S.A., Evsyukov S.A., Biba N.V., Shitikov A.A. *Konechno-elementnoe modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov kovki i ob"emnoy shtam-povki: uchebnoe posobie* [Finite element modeling of technological processes of forging and volumetric stamping: a textbook]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2019. 383 p. (In Russ.)

***Информация об авторах***

**Нифантьев Павел Николаевич**, младший научный сотрудник лаборатории продольной прокатки, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия; аспирант кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; NifantevPN@tmk-group.com.

**Фарукшин Илья Камильевич**, инженер лаборатории моделирования технологических процессов, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия; аспирант кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; ilya.farukshin@tmk-group.com.

**Черных Иван Николаевич**, заведующий лабораторией продольной прокатки, ООО «Исследовательский центр ТМК», Челябинск, Россия; ChernykhIN@tmk-group.com.

***Information about the authors***

**Pavel N. Nifantev**, Junior Researcher of the Laboratory of Longitudinal Rolling, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia; Postgraduate Student of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; NifantevPN@tmk-group.com.

**Ilya K. Farukshin**, Engineer, Laboratory of Process Modeling, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia; Postgraduate Student of the Department of Processes and Machines for Metal Forming, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; ilya.farukshin@tmk-group.com.

**Ivan N. Chernykh**, Head of of the Longitudinal Rolling Laboratory, TMK Research, LLC, Chelyabinsk, Russia; ChernykhIN@tmk-group.com.

***Статья поступила в редакцию 19.12.2025***

***The article was submitted 19.12.2025***