

DOI 10.5862/JEST.226.6

УДК 621.774 352

А.А. Богатов, Д.А. Павлов, Е.А. Павлова

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА РАСКАТКИ ТРУБ НА КОРОТКОЙ ОПРАВКЕ

A.A. Bogatov, D.A. Pavlov, E.A. Pavlova

## TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE METHOD OF ROLLING OF HOT-ROLLED TUBE ON A STUB MANDREL

Предложен новый способ раскатки горячекатанных труб на автоматическом стане «тандем», который состоит из двух станов продольной прокатки труб на короткой оправке (СПП-1 и СПП-2). Способ позволяет придать гильзе овальную форму непосредственно перед валками стана продольной прокатки труб. Придание гильзе овальной формы обеспечивает равномерное заполнение калибра и уменьшение разностенности труб. Овализация гильзы позволит увеличить коэффициент вытяжки на СПП-1 с 1,5 до 2,0 и снизить коэффициент вытяжки на прошивном стане, тем самым уменьшить риск образования плен на наружной поверхности труб. Проведено исследование влияния коэффициента кинематического натяжения на формоизменение трубы в выпусках калибра при продольной прокатке с предварительной овализацией гильзы. Установлено, что кинематическое натяжение в процессе прокатки на короткой оправке предварительно овализированной гильзы позволяет уменьшить интенсивность утолщения стенки гильзы-трубы в выпусках калибра при прокатке в СПП-1, что уменьшает вероятность образования продольных рисок на внутренней поверхности труб.

РАСКАТКА ТРУБ; КОРОТКАЯ ОПРАВКА; АВТОМАТИЧЕСКИЙ СТАН «ТАНДЕМ»; КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ; КОЭФФИЦИЕНТ ОВАЛИЗАЦИИ.

A new method of rolling of hot-rolled tube on automatic mill “tandem” consisting of two lengthwise rolling mills (a lengthwise rolling mill №1 and №2) is proposed. Method allows to achieve the rough tube preovalisation before rollers of a lengthwise rolling mill. The rough tube preovalisation provides uniform groove filling and a decrease of nonuniform pipe wall thickness. The rough tube preovalisation will allow to increase elongation ratio from 1,5 to 2,0 on the lengthwise rolling mill №1 and to decrease the elongation ratio on the piercing mill. That will allow to decrease the risk of a rolling skin formation on external tube surface. The way to reduce the probability of the formation of a “guide mark” defect due to the kinematic tension during rolling on a stub mandrel with rough tube preovalisation is investigated. The influence of the kinematic tension on the forming tube in the groove taper at a lengthwise rolling with rough tube preovalisation is investigated

A TUBE ROLLING-OFF; A STUB MANDREL; AN AUTOMATIC MILL “TANDEM”; A FINITE-ELEMENT SIMULATION; A COEFFICIENT OF ROUGH TUBE OVALISATION.

### Введение

К достоинствам трубопрокатных агрегатов (ТПА) с автоматическим раскатным станом относятся: высокая маневренность, позволяющая за короткий промежуток времени осуществить переход с одного типоразмера труб на другой;

относительно высокая производительность (150–250 тыс. тонн труб в год) [1–5]; возможность производства многотоннажных партий широкого сортамента из углеродистых, легированных и высоколегированных марок стали. Слабыми сторонами ТПА с автоматическим раскатным станом являются низкий коэффициент



вытяжки при раскатке труб, высокое время вспомогательных операций, а также разностенность черновых труб. Установка непрерывного стана взамен автоматического позволила бы устранить перечисленные недостатки, однако реконструкция ТПА всегда связана с существенными материальными затратами. Кроме того, новое оборудование не всегда удается разместить на месте старого при существующей планировке цеха. В этой связи целесообразно совершенствование существующей технологии раскатки.

На трубопрокатном агрегате ТПА-140 ОАО «СинТЗ» с автоматическим раскатным станом «тандем», который состоит из двух станов продольной прокатки (СПП-1 и СПП-2), удалось сократить время вспомогательных операций благодаря последовательному расположению клетей. Однако коэффициенты вытяжки при раскатке остались сравнительно невысокими. На СПП-1 коэффициент вытяжки  $\lambda = 1,16-1,5$ , а на СПП-2 –  $\lambda = 1,07-1,15$ . Черновые трубы имеют поперечную разностенность, которая частично устраняется при прокате на трехвалковом обкатном стане.

Целью исследования было совершенствование технологии раскатки труб на короткой

оправке, при которой прокатка ведется при повышенных коэффициентах вытяжки, а также обеспечивается снижение разностенности черновых труб. Повышение коэффициента вытяжки при прокатке на короткой оправке позволит производить на ТПА-140 тонкостенные трубы с отношением  $D/S > 33$ , а также понизить коэффициент вытяжки при прошивке. Снижение коэффициента вытяжки при прошивке обеспечит увеличение точности гильз и уменьшение объема брака по пленам.

### Результаты экспериментов

В ходе промышленных исследований было установлено, что увеличение коэффициента вытяжки на автоматическом стане «тандем» приводит к увеличению объему брака по различным дефектам, в том числе по дефекту «риска». Наиболее вероятной причиной образования рисок на внутренней поверхности труб является встречное течение металла в области выпусков калибров и образования лампасов при прокатке труб в СПП-2 [1]. Причем, чем больше толщина стенки в выпуске калибра, тем вероятнее образование зажимов на внутренней поверхности черновой

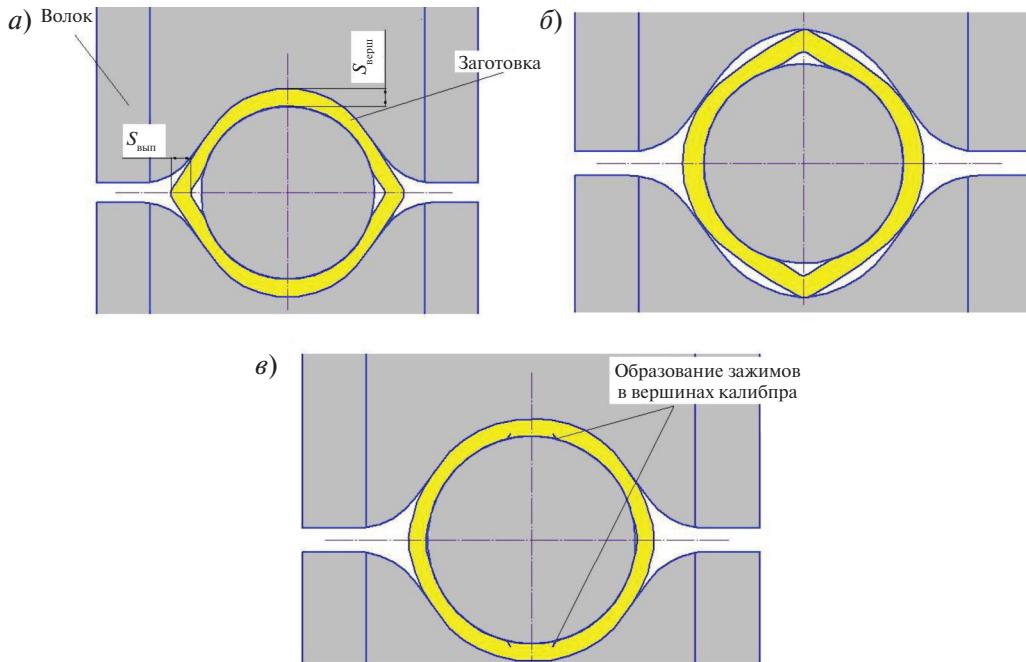


Рис. 1. Схема образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб: а) формирование лампасов в выпусках калибра при прокатке в СПП-1; б) захват в вершинах калибра СПП-2 после кантовки трубы; в) формирование зажимов при заполнении металлом калибра

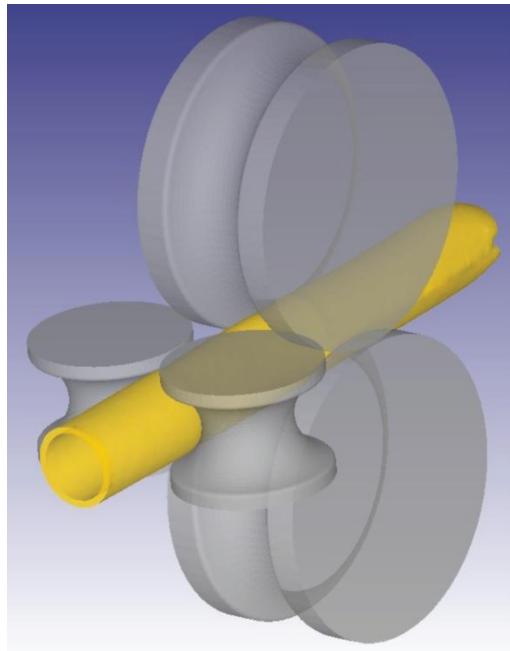


Рис. 2. 3D-модель СПП-1 с эджерными валками

трубы. Толщину стенки в выпуске калибра характеризует безразмерный параметр  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$  ( $S_{\text{вып}}$  и  $S_{\text{верш}}$  – толщина стенки черновой трубы соответственно в выпуске и вершине калибра). На рис. 1 представлены поперечные разрезы очага деформации при раскатке на СПП-1 (а) и СПП-2 (б, в).

В ходе компьютерного моделирования в программе Deform [6] было установлено, что уменьшить размеры лампасов можно путем установки перед клемью СПП-1 эджерных валков, прида-

ющих овальность гильзе перед раскаткой в этой клети (рис. 2).

При подаче круглой гильзы в СПП-1 захват начинается в зоне выпусколов (рис. 3). В результате сплюсывания и небольшого редуцирования заполняется весь калибр, металл интенсивно течет в выпуск калибра, при этом происходит увеличение толщины стенки в выпуске калибра

При подаче овальной гильзы в шестигранный калибр захват начинается в вершине калибра, после чего происходит полное заполнение калибра (рис. 4). При этом металл менее интенсивно течет в выпуск калибра. Таким образом, размеры лампасов, образующихся при прокатке овальной гильзы, уменьшаются по сравнению с размерами лампасов, образующихся при прокатке круглой гильзы, и, следовательно, снижается вероятность образования риски.

Компьютерное моделирование показало, что при коэффициенте овализации гильзы  $\xi = 1,25$  [8, 9] (см. рис. 4) безразмерный параметр  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$  снижается на 31 %, т. е. применение эджерных валков позволяет уменьшить размеры лампасов.

На основании опытных данных процесса раскатки гильзы на стане продольной прокатки труб СПП-1 без эджерных валков отношение  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$  не должно превышать критического значения  $(S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}})_{\text{кр}} = 1,80$  [10]. При превышении критического значения параметра наблюдается образование дефекта «риска». На рис. 5 представлен график, характеризующий зависимость параметра  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$  от коэффициента

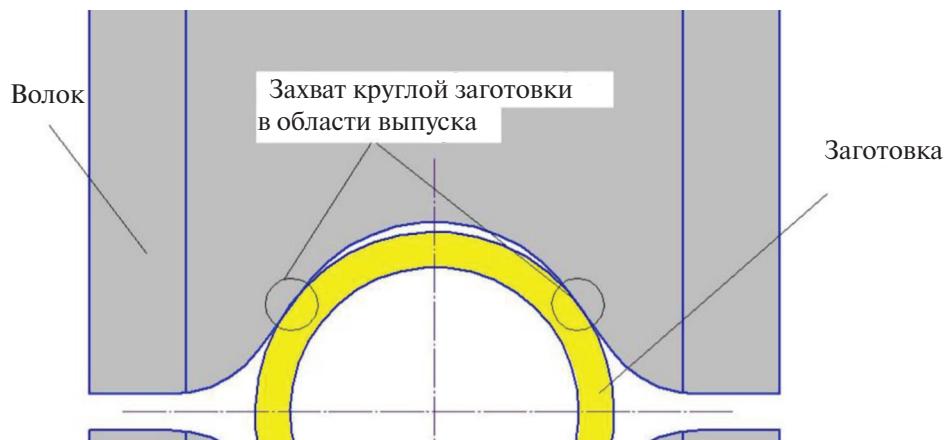


Рис. 3. Захват круглой гильзы при прокатке в СПП-1

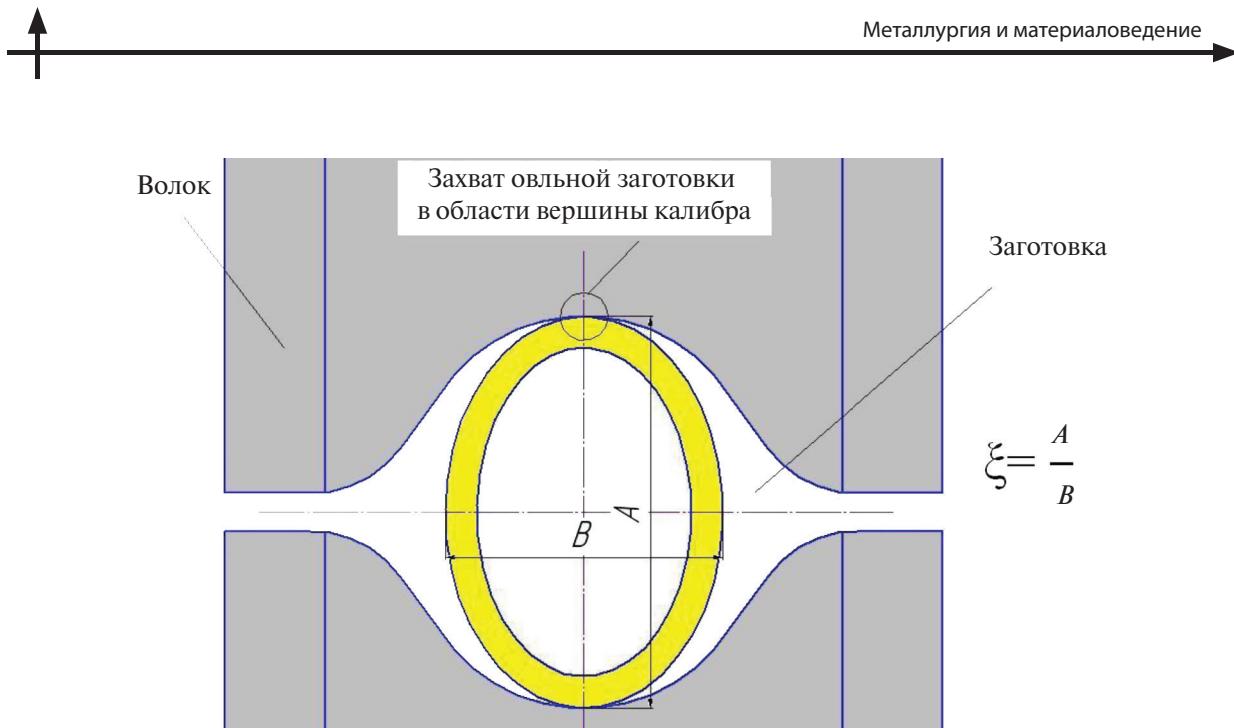
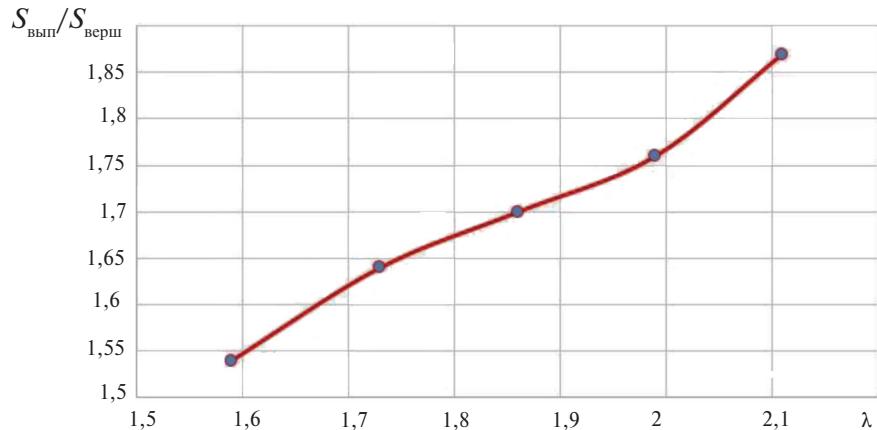


Рис. 4. Захват овальной гильзы при прокатке в СПП-1

Рис. 5. Зависимость параметра  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$  от коэффициента вытяжки при прокатке в СПП-1 с эджерными валками

вытяжки при прокатке в СПП-1 с эджерными валками.

На рис. 5 видно, что с увеличением коэффициента вытяжки происходит увеличение толщины стенки в выпуске калибра. При коэффициенте вытяжки  $\lambda = 2,00$  параметр  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}} = 1,77$  и не превышает критического значения. Таким образом, при установке эджерных валков перед клетью СПП-1 коэффициент вытяжки может быть увеличен с 1,50 до 2,00.

Для исследования возможности дальнейшего повышения коэффициента вытяжки было

произведено моделирование раскатки труб с использованием кинематического натяжения. Натяжение создавалось с помощью второй пары эджерных валков, установленных за рабочей клетью СПП-1. На рис. 6 представлена твердотельная модель стана с двумя парами эджерных валков.

Исследование формоизменения черновой трубы после прокатки в СПП-1 показало, что кинематическое натяжение позволяет существенно снизить интенсивность утолщения стенки в выпусках калибра. В таблице представлены

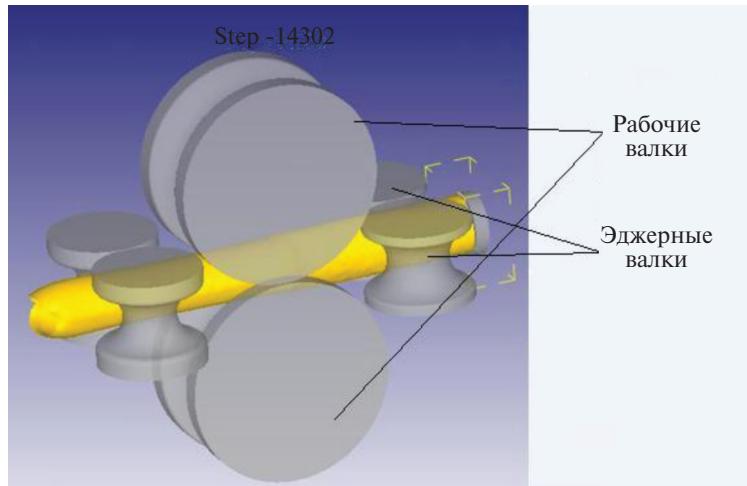


Рис. 6. Твердотельная модель СПП-1 с двумя парами эджерных валков

#### Результаты измерения параметра $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$ в зависимости от коэффициента кинематического натяжения $\omega$

Номер вычислительного эксперимента	Коэффициент кинематического натяжения $\omega$	$S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$
1	1,02	1,49
2	1,04	1,47
3	1,06	1,46
4	1,08	1,44
5	1,1	1,42

результаты измерения параметра в зависимости от коэффициента кинематического натяжения  $\omega$ .

Из таблицы видно, что с увеличением коэффициента кинематического натяжения параметр  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}}$  уменьшается. Наименьшее значение параметра  $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}} = 1,42$  получено при  $\omega = 1,1$ . Такая величина кинематического натяжения на СПП-1 позволяет увеличить коэффициент вытяжки до  $\lambda = 2,40$ . При этом превышения критического значения параметра  $(S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}})_{\text{кр}}$  не происходит ( $S_{\text{вып}}/S_{\text{верш}} = 1,73$  при  $\lambda = 2,40$ ).

#### Заключение

В ходе исследования установлено, что при дание гильзе с помощью эджерных валков овальной формы перед прокаткой в СПП-1 позволя-

ет уменьшить разностенность черновой трубы. Кроме того, при максимально возможном коэффициенте кинематическом натяжении на СПП-1, равном  $\omega = 1,1$ , удается существенно уменьшить утолщение стенок трубы в выпусках калибра и тем самым снизить вероятность образования дефекта «риска» при повышенных коэффициентах вытяжки. Компьютерное моделирование процесса прокатки труб в СПП-1 позволило установить, что коэффициент вытяжки может быть увеличен с 1,5 до 2,4. Повышение коэффициента вытяжки при раскатке позволит производить на ТПА-140 тонкостенные трубы с отношением  $D/S > 33$ , а также повысить точность размеров гильз благодаря снижению коэффициента вытяжки при прошивке.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Харитонов В.В., Богатов А.А., Вахрушев В.Ю. Оборудование для прокатки, прессования и волочения труб. Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2008. 233 с.
2. Потапов И.Н., Коликов А.П., Друян В.М. Теория трубного производства / М.: Металлургия, 1991. 424 с.
3. Данченко В.Н., Коликов А.П., Романцев Б.А. Технология трубного производства. М.: Интерметинжиниринг, 2002. 640 с.
4. Потапов И.Н., Коликов А.П., Друян В.М. Теория трубного производства. М.: Металлургия, 1991. 424 с.
5. Данилов А.Ф., Глейберг А.З., Балакин В.Г. Горячая прокатка и прессование труб. М.: Металлургия, 1972. 576 с.
6. Карамышев А.П., Некрасов И.И., Путин А.И. [и др.]. Практическое руководство к программному комплексу Deform-3D / УрФУ, 2010. 266 с.
7. Богатов А.А., Павлов Д.А., Липнигов С.В., Суровов В.Н. Моделирование образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб при продольной прокатке // Производство проката. 2012. №8. С. 37–39.
8. Богатов А.А., Павлов Д.А., Дресвянкина Е.А. Разработка математической модели нового процесса продольной прокатки труб // Сборник трудов «ОМД 2014. Фундаментальные проблемы. Инновационные материалы и технологии». Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2014. С. 102–106.
9. Богатов А.А., Павлова Е.А., Павлов Д.А. Finite-element simulation of the process of lengthwise pipe rolling on a stub mandrel // 3-я Международная конференция COMAT 2014 сб. науч. трудов, Пльзень (Чехия), 2014.
10. Bogatov A.A., Pavlov D.A., Lipnyagov S.V., Suvorov V.N., Pavlova E.A. Rolling Hot Deformed Pipe on a Stub Mandrel // Steel in Translation. 2014. Vol. 44, No 12. P. 912–915.

## REFERENCES

1. Kharitonov V.V., Bogatov A.A., Vakhrushev V.Yu. Oborudovaniye dlya prokatki, pressovaniya i volocheniya trub [Equipment for rolling, pressing and drawing of pipes]. Ekaterinburg: Izd-vo UGTU-UPI, 2008. 233 s. (rus.)
2. Potapov I.N., Kolikov A.P., Druyan V.M. Teoriya trubnogo proizvodstva [Theory of pipe production]. M.: Metallurgiya, 1991. 424 s. (rus.)
3. V.N. Danchenko, A.P. Kolikov, B.A. Romantsev. Tekhnologiya trubnogo proizvodstva [Technology of pipe production]. M.: Intermetinzhiniring, 2002. 640 s. (rus.)
4. Potapov I.N., Kolikov A.P., Druyan V.M. Teoriya trubnogo proizvodstva [Theory of pipe production]. M.: Metallurgiya, 1991. 424 s. (rus.)
5. Danilov A.F., Gleyberg A.Z., Balakin V.G. Goryachaya prokatka i pressovaniye trub [Hot rolling and pressing of pipes]. M.: Metallurgiya, 1972. 576 s. (rus.)
6. Karamyshev A.P., Nekrasov I.I., Pugin A.I. [i dr.]. Prakticheskoye rukovodstvo k programmnomu kompleksu Deform-3D [Practical guidance to the program Deform-3D complex] / UrFU, 2010. 266 s. (rus.)
7. Богатов А.А., Павлов Д.А., Липнигов С.В., Суровов В.Н. Моделирование образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб при продольной прокатке [Modeling of formation of defect of “risk” on an internal surface of pipes at longitudinal rolling]. Proizvodstvo prokata. №8. 2012. S. 37–39. (rus.)
8. Bogatov A. A., Pavlov D. A., Dresvankina Ye. A. Razrabotka matematicheskoy modeli novogo protesssa prodolnoy prokatki trub [Development of mathematical model of new process of longitudinal rolling of pipes]. Sbornik trudov «OMD 2014. Fundamentalnyye problemy. Innovatsionnyye materialy i tekhnologii» Ekaterinburg: Izd-vo UrFU, 2014. S. 102–106. (rus.)
9. Богатов А.А., Павлова Е.А., Павлов Д.А. Finite-element simulation of the process of lengthwise pipe rolling on a stub mandrel. 3-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya COMAT 2014 sb. nauch. trudov. g. Plzen (Chekhija), 2014 g. (rus.)
10. Bogatov A.A., Pavlov D.A., Lipnyagov S.V., Suvorov V.N., Pavlova E.A. Rolling Hot Deformed Pipe on a Stub Mandrel. Steel in Translation. 2014. Vol. 44, No 12. P. 912–915.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

**БОГАТОВ Александр Александрович** – доктор технических наук заведующий кафедрой Уральского федерального университета им. первого Президента России Б.Н. Ельцина.  
620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира д. 19. E-mail: omd@urfu.ru

**BOGATOV Aleksandr A.** – Ural Federal University named after first president of Russia B.N. Yeltsin.  
620002, Mira Str. 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: omd@urfu.ru

**ПАВЛОВ Дмитрий Андреевич** – кандидат технических наук доцент кафедры обработки металлов давлением Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина. 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира д. 19. E-mail: d.a.pavlov@urfu.ru

**PAVLOV Dmitriy A.** – Ural Federal University named after first president of Russia B.N. Yeltsin. 620002, Mira Str. 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: d.a.pavlov@urfu.ru

**ПАВЛОВА Елена Александровна** – магистрант Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина. 620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира д. 19. E-mail: lenka.nee@mail.ru

**PAVLOVA Elena A.** – Ural Federal University named after first president of Russia B.N. Yeltsin. 620002, Mira Str. 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: lenka.nee@mail.ru