

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.774.352

DOI: 10.14529/met180209

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОКАТКИ ТРУБ НА НЕПРЕРЫВНОМ РАСКАТНОМ СТАНЕ С УДЕРЖИВАЕМОЙ ОПРАВКОЙ

Д.О. Струин¹, А.В. Выдрин^{1, 2}, В.Г. Шеркунов², Е.А. Шкуратов¹,
И.Н. Черных¹, О.Е. Сарафанова¹, С.Н. Мишин³

¹ ОАО «Российский научно-исследовательский институт

трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск, Россия,

² Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия,

³ АО «Волжский трубный завод», г. Волжский, Россия

С каждым годом к горячекатаным бесшовным трубам ужесточаются требования, предъявляемые к точности толщины стенки, предельным отклонениям по внутреннему или наружному диаметрам, овальности и кривизне. Поэтому проблема повышения точности геометрических параметров труб является одной из основных в трубопрокатном производстве.

Процесс прокатки бесшовных труб на оправке и без оправки с использованием непрерывных станов широко используется на современных трубопрокатных агрегатах. На непрерывном раскатном стане с удерживаемой оправкой прокатывают бесшовные трубы с различной величиной наружных диаметров, по размерам которых обозначают соответствующую систему калибров. Весь сортамент труб получают на извлекательно-калибровочном, редуционно-растяжном и калибровочном станах. При этом технология прокатки на непрерывном раскатном стане в значительной мере определяет состояние поверхности и точность геометрических параметров готовых труб.

В данной статье представлен выполненный комплекс работ по совершенствованию технологии прокатки бесшовных труб на непрерывном раскатном стане с удерживаемой оправкой. Комплекс работ включает в себя: разработку и исследование влияния различной калибровки валков непрерывного раскатного стана на точность труб и состояние поверхности, исследование влияния параметров процесса прокатки на формирование концевой обреза труб на горячем переделе, определение и настройку пространственного положения технологического оборудования непрерывного раскатного стана относительно проектной оси прокатки, определение рациональной позиции оправки непрерывного раскатного стана в процессе раскатки гильз. В работе приведены формулы для расчёта скорости перемещения оправки непрерывного раскатного стана, учитывающие конструктивный состав оборудования. Формулы являются универсальными и позволяют определять длину рабочей части оправки, а также минимальную и максимальную скорость перемещения оправки непрерывного раскатного стана.

Показано, что результаты выполненных работ целесообразно учитывать при проектировании новых трубопрокатных агрегатов.

Ключевые слова: трубопрокатный агрегат, труба, продольная прокатка, непрерывный раскатный стан, извлекательно-калибровочный стан, удерживаемая оправка, ось прокатки, калибровка валков, система калибров, очаг деформации, дефекты, точность труб.

Технология раскатки гильз на непрерывном раскатном стане (НРС) должна обеспечивать наиболее равномерное формоизменение металла в клетях стана, в связи с этим широкое распространение получили трёхвалковые станы типа PQF (Premium Quality Finishing) и FQM (Fine Quality Mill).

В данной статье представлены основные результаты исследований технологии раскатки гильз на пятиклетевых трёхвалковых НРС с удерживаемой оправкой типа PQF, FQM, которые были получены в период пусковых работ и в период освоения станов.

Результаты исследований

Для расчёта геометрических параметров очага деформации при прокатке труб в трёхвалковом НРС была разработана универсальная математическая модель. Математическая модель позволяет осуществлять расчёт для случая прокатки труб с использованием различных видов калибров с учётом возможности изменения зазора между валками. Результаты расчёта были подтверждены путём проведения опытных работ в промышленных условиях, а также проверены с использованием средств компьютерного моделирования [1, 2].

В работе [3] установлено, что полученные аналитические зависимости [1, 2] можно эффективно использовать для расчёта режимов деформации и энергосиловых параметров

процесса прокатки труб в трёхвалковых калибрах, причём это справедливо как для случая прокатки на оправке, так и для случая прокатки без оправки. Для расчёта частоты вращения валков были определены эмпирические коэффициенты, которые назначались поставщиком оборудования в период пуска и освоения станов.

С целью снижения неравномерности деформаций при прокатке труб в системах калибров НРС была разработана новая калибровка валков (NRD – new roll design) для черновых клетей стана [4]. Использование новой калибровки валков позволяет уменьшить коэффициент неравномерности деформации по вершине калибра на 15 % (рис. 1, 2, 5). Коэффициент неравномерности деформации [5]

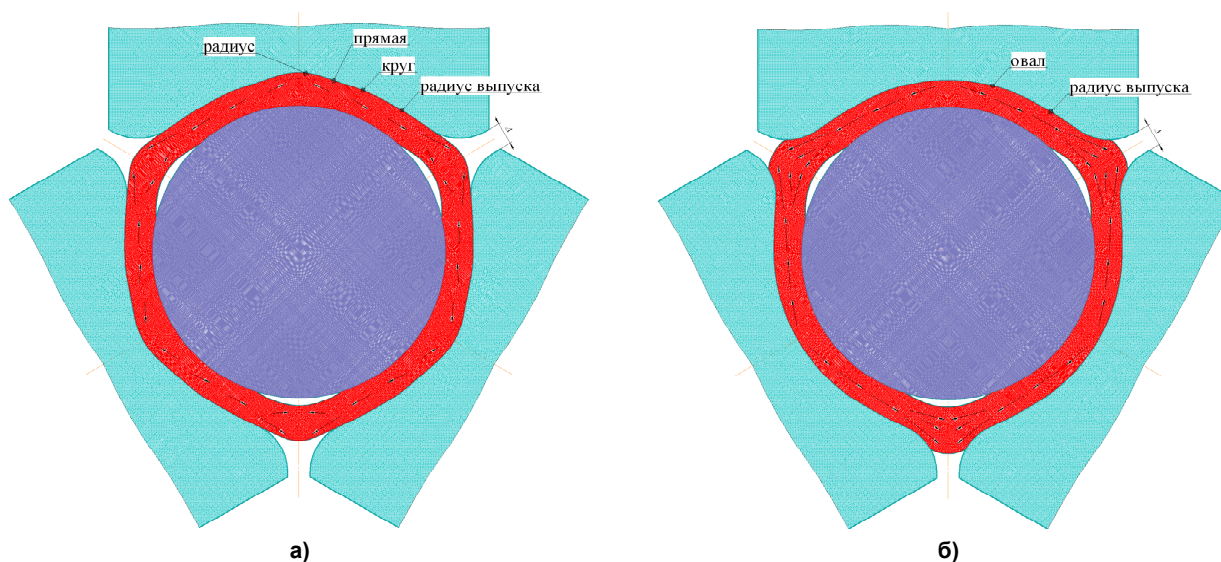


Рис. 1. Схема очага деформации при прокатке с использованием различной калибровки валков: а – калибровка NRD; б – классическая калибровка

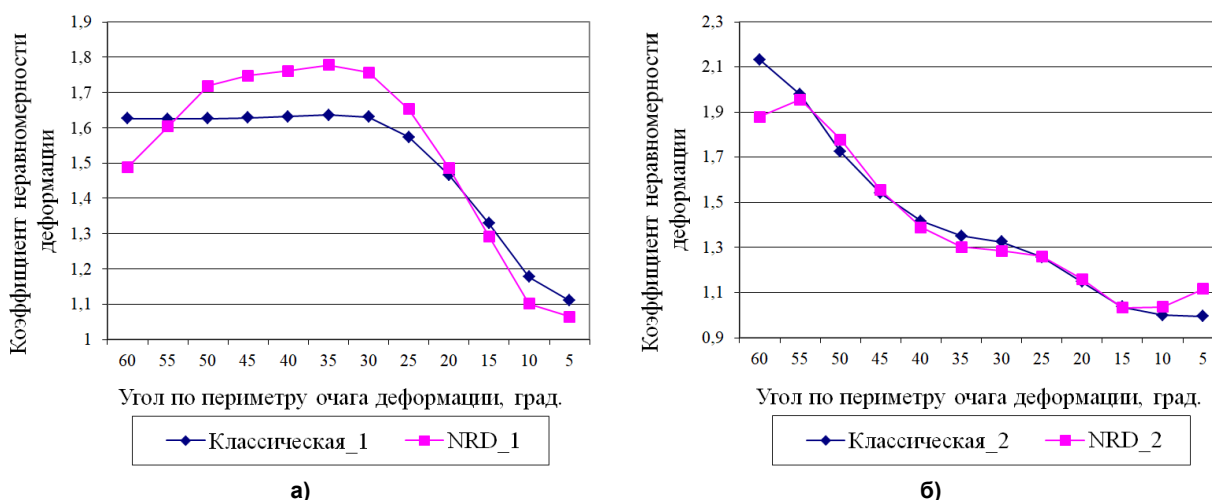


Рис. 2. Величина коэффициента неравномерности деформации: а – в первой клетке; б – во второй клетке (60° соответствует вершине калибра)

позволяет дать количественную оценку равномерности распределения коэффициентов вытяжек и окружной скорости валка по периметру калибра в каждой клетке НРС. Влияние новой калибровки валков на параметры процесса прокатки было исследовано на прокатном стане ОАО «РосНИТИ» [6, 7]. В результате исследования было установлено, что использование новой калибровки валков NRD позволяет повысить точность труб и уменьшить переполнение калибров [3, 4, 8, 9].

На рис. 2, 3, 5 представлены параметры процесса, соответствующие случаю прокатки труб наружным диаметром 168,3 мм с толщиной стенки 8,9 мм, марки стали 32Г2А.

Для оперативного расчёта настроечных параметров и проведения анализа процесса прокатки труб с использованием различной калибровки валков НРС были получены уравнения, описывающие взаимосвязь между показателями напряжённого состояния раската и коэффициентом неравномерности деформации (рис. 3, 4). Показатели напряжённого состояния были получены в результате компьютерного моделирования в программе QForm.

С использованием средств компьютерного моделирования исследована новая калибровка валков для черновых клетей трёхвалкового НРС. Установлено, что применение новой калибровки валков в первой и второй клетях стана позволяет уменьшить переполнение калибров, уменьшить брак по толщине стенки готовых труб и количество дефектов поверхности прокатного происхождения. Эффективность новой калибровки валков в первой и второй клетях также была подтверждена расчётным путём на основании разработанной методики для расчёта показателей напряжённого состояния раската (рис. 4, 5).

Установлено, что на величину суммарной концевой обрезки при горячем переделе существенное влияние оказывают следующие параметры процесса прокатки: наружный диаметр раската после НРС и редуционно-растяжного стана, коэффициенты вытяжки в извлекательно-калибровочном стане (ИКС) и редуционно-растяжном стане. Получена эмпирическая зависимость для расчёта величины суммарной концевой обрезки при горячем переделе на ТПА с трёхвалковым НРС [10].

Разработан алгоритм и методика расчёта оптимальной величины овальности чистовых калибров трёхвалковых НРС [11–13]. Научно обоснованная система ограничений на управ-

ляющие параметры процесса прокатки включает в себя следующие условия:

– по предельной величине овальности и углу охвата оправки, при которых деформация осуществляется без разрушения металла раската и образования дефектов поверхности прокатного происхождения;

– по обеспечению стабильного заполнения очагов деформации и межклетевых промежутков, учитывающие: отрицательное воздействие со стороны оправки при выходе раската из чистового калибра НРС (скорость раската больше скорости оправки) и параметры процесса прокатки при извлечении раската с оправки извлекательно-калибровочным станом.

Разработанная методика расчёта позволила изыскать резервы по совершенствованию калибровки валков в чистовых клетях трёхвалковых НРС. С использованием методики расчёта оптимальной величины овальности разработан и всесторонне исследован новый калибр для четвёртой клетки пятиклетевого трёхвалкового НРС, применение которого является оптимальным техническим решением с точки зрения повышения точности раскатываемых труб.

Разработана и внедрена методика определения пространственного положения технологического оборудования НРС относительно проектной оси прокатки. Определение пространственного положения оборудования осуществляется с использованием лазерного трекера. Разработанная методика была адаптирована к технологии прокатки бесшовных труб на ТПА с двухвалковым [14] и трёхвалковым НРС [15]. Методика учитывает конструктивные особенности НРС каждого типа, способствует повышению точности раскатываемых труб и снижению количества дефектов прокатного происхождения различного вида.

Разработана универсальная методика расчёта скорости перемещения оправки НРС в процессе прокатки, позволяющая определять:

– длину рабочей части оправки;

– минимальную и максимальную скорость перемещения оправки НРС с учётом конструктивного состава оборудования.

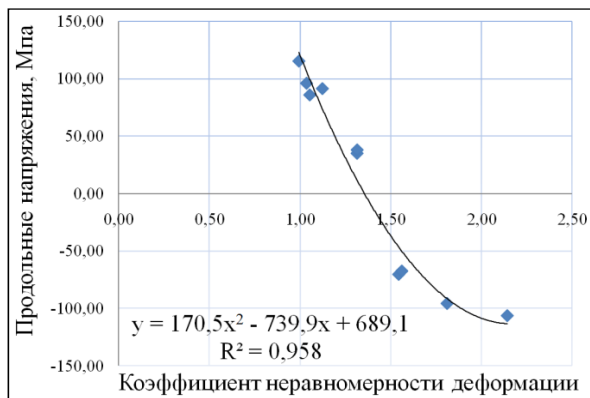
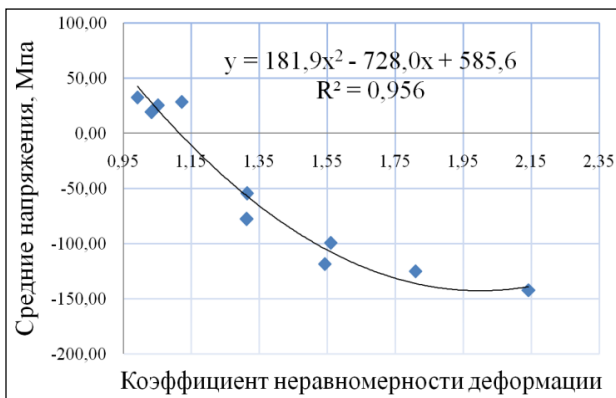
Следует отметить, что разработанная методика расчёта скорости перемещения оправки НРС учитывает два обязательных условия, которые необходимы для исключения аварийных ситуаций в процессе раскатки и снижения количества дефектов поверхности прокатного происхождения:

– условие № 1: в момент заполнения клетей НРС металлом раската оправка должна находиться в очаге деформации последней клетки;

– условие № 2: по окончании цикла раскатки оправка не должна достичь первой клетки извлекательно-калибровочного стана.

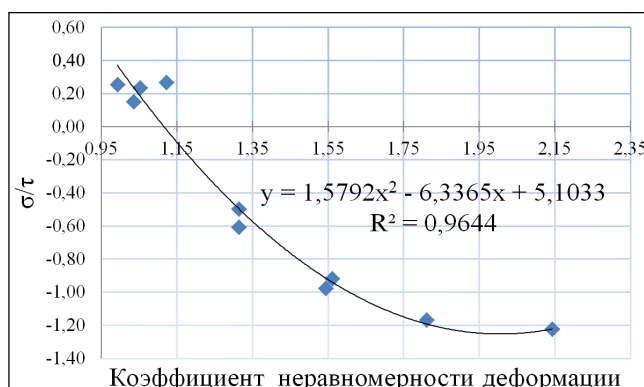
Длина рабочей части оправки, участвующей в деформации раската, рассчитывается по формуле

$$L_{РАБ} = L_{ВЫД_1} + v_{оп} \left[\sum \frac{L_{i-(i+1)}}{v_i} + \frac{V_{Г} - \sum F_i \cdot L_{i-(i+1)}}{v_{Г} \cdot F_{Г}} \right]. \quad (1)$$



а)

б)



в)

Рис. 3. Графики зависимости показателей напряжённого состояния раската от коэффициента неравномерности деформации во второй клетке трёхвалкового НРС (σ/τ – отношение среднего напряжения к интенсивности касательных напряжений)

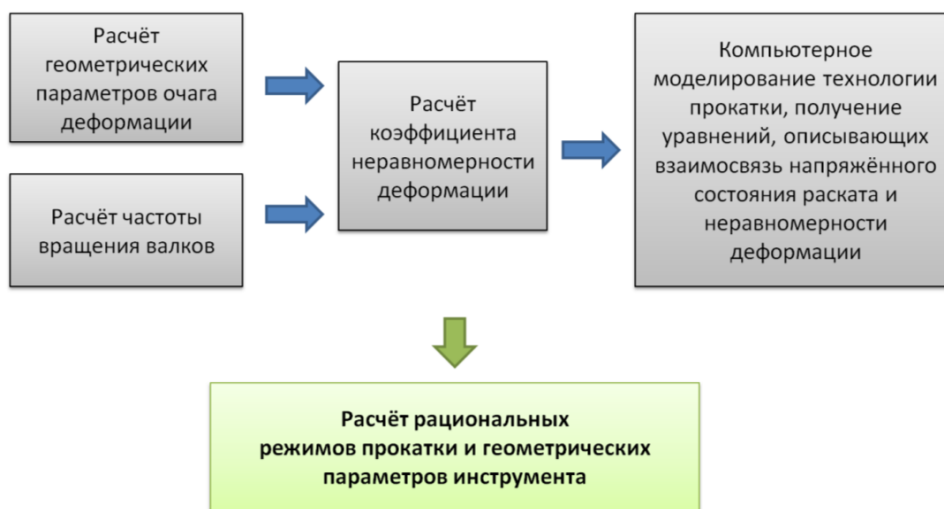


Рис. 4. Схема к расчёту показателей напряжённого состояния раската [3]

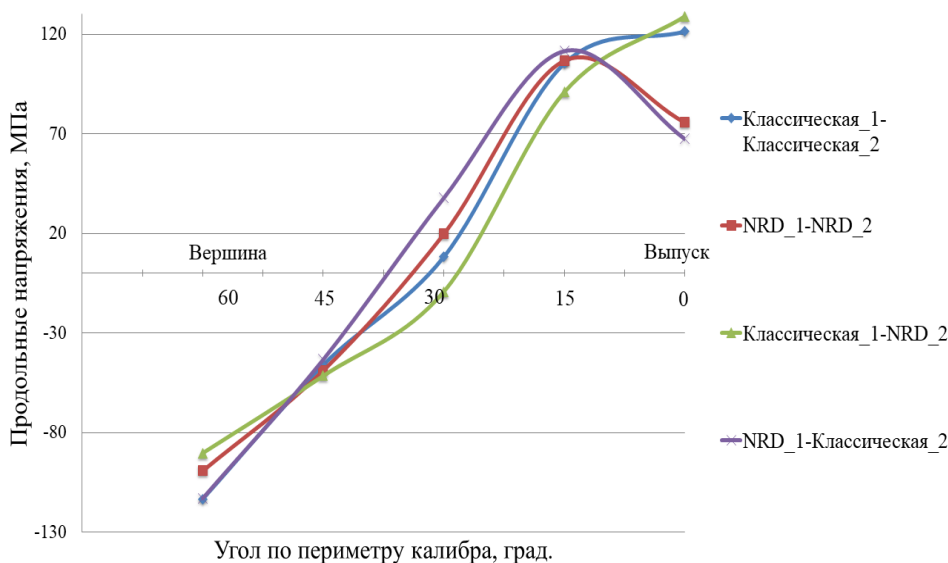


Рис. 5. Величина продольных напряжений в очаге деформации второй клетки трёхвалкового НРС при прокатке труб с использованием различных калибровок валков

Выдвижение оправки за последнюю клетку НРС в момент заполнения последней клетки металлом рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ВЫД_посл}} = L_{\text{ВЫД_1}} + v_{\text{оп}} \cdot \sum \frac{L_{i-(i+1)}}{v_i} - L_{\text{НРС}}. \quad (2)$$

Условие № 1, выполнение которого обеспечивает нахождение оправки в очаге деформации последней клетки НРС:

$$L_{\text{ВЫД_посл}} > 0.$$

Расстояние от переднего торца оправки до первой клетки стана ИКС в конце цикла прокатки рассчитывается по формуле

$$L_{\text{ОП-ИКС}} = L_{\text{НРС-ИКС}} - L_{\text{РАБ}} + L_{\text{НРС}} - v_{\text{оп}} \left[\sum \frac{L_{i-(i+1)}}{v_i} + \frac{L_{\text{НРС-ИКС}}}{v_{\text{посл_кл}}} \right]. \quad (3)$$

Условие № 2, выполнение которого обеспечивает безаварийный процесс прокатки:

$$L_{\text{ОП-ИКС}} > 0.$$

В формулах (1)–(3) символами обозначено:

$L_{\text{оп}}$ – длина оправки НРС;

$L_{\text{ВЫД_1}}$ – выдвижение оправки за первую клетку НРС перед началом процесса прокатки;

V_{Γ} – объём гильзы;

$v_{\text{оп}}$ – скорость перемещения оправки;

$L_{i-(i+1)}$ – расстояние между клетками i и $(i+1)$;

F_i – площадь поперечного сечения раската на выходе из клетей НРС ($i = 1 \dots 5$);

v_{Γ} – скорость гильзы на входе в первую клетку НРС;

v_i – скорость раската на выходе из клетей НРС ($i = 1 \dots 5$);

$L_{\text{НРС}}$ – расстояние от очага деформации первой клетки до очага деформации последней клетки НРС;

$L_{\text{НРС-ИКС}}$ – расстояние между НРС и ИКС;

$v_{\text{посл_кл}}$ – скорость раската на выходе из последней клетки НРС.

Выполненный комплекс работ позволяет совершенствовать технологию прокатки бесшовных труб на непрерывном раскатном стане с удерживаемой оправкой с учётом конструктивного состава оборудования, а также проектировать новые станы продольной прокатки.

Литература

1. Струин, Д.О. К вопросу определения геометрических параметров при прокатке труб в трехвалковых калибрах / Д.О. Струин // Научный поиск. Технические науки: материалы третьей науч. конф. аспирантов и докторантов. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2011. – Т. 2. – С. 72–81.

2. Методика расчета площади поперечного сечения очага деформации при прокатке труб в трехвалковых калибрах / Д.О. Струин, В.Г. Шеркунов, А.В. Выдрин и др. // Сталь. – 2012. – № 12. – С. 41–44.

3. Струин, Д.О. Совершенствование технологии продольной прокатки труб на основе создания и использования новых научных обос-

нованных технических решений: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.05 «Обработка металлов давлением»: защищена 14.12.16 / Струин Дмитрий Олегович. – Челябинск, 2016. – 170 с.

4. Патент RU 2530591 С 2. Калибр трубопрокатного стана / Д.А. Лившиц, И.Ю. Пышминцев, А.А. Клачков и др. – Опубл. 10.10.2014, Бюл. № 25.

5. Швейкин, В.В. Причины образования поперечных трещин на трубах при прокатке в круглом калибре на оправке / В.В. Швейкин // Сталь. – 1949. – № 3.

6. Создание комплекса оборудования для исследования и моделирования процессов деформации труб / И.Ю. Пышминцев, А.В. Выдрин, Б.В. Баричко и др. // Трубы–2009: тр. междунар. науч.-техн. конф. – Челябинск: ООО «Полиграф-мастер», 2009. – С. 328–331.

7. Новые возможности по физическому и математическому моделированию процессов продольной прокатки труб / А.В. Выдрин, Д.О. Струин, Б.Г. Пьянков и др. // Трубы–2012: тр. XX юбилейной науч.-практ. конф. – Челябинск, 2012. – Ч. 2. – С. 4–8.

8. Сравнительный анализ процесса оправочной продольной прокатки труб с использованием калибров, образованных разным количеством валков / А.В. Выдрин, И.Н. Черных, Д.О. Струин и др. // Трубы–2014: тр. XXII науч.-практ. конф., 2014. – Ч. 2 – С. 143–150.

9. Экспериментальные исследования калибровки валков оправочных станов продольной прокатки / Д.О. Струин, И.Н. Черных // Наука ЮУрГУ: материалы 65-й научной конференции. Секции технических наук. – Че-

лябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2013. – Т. 2. – С. 15–18.

10. Черных, И.Н. Определение величины концевой обрезки труб, формирующейся в условиях ТПА с непрерывными станами типа PQF, FQM / И.Н. Черных, Д.О. Струин, Е.А. Шкуратов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2014. – Т. 14, № 4. – С. 71–75.

11. Влияние величины овальности чистовых клетей раскатного стана на характеристики точности и формоизменение раската / Е.А. Шкуратов, А.В. Выдрин, Д.О. Струин, И.Н. Черных // Metallurg. Наука, техника, производство. – 2016. – № 1. – С. 75–79.

12. Шкуратов, Е.А. Совершенствование технологии продольной прокатки полых заготовок на непрерывных раскатных станах / Е.А. Шкуратов, А.В. Выдрин // Черные металлы. – 2017. – № 3. – С. 42–46.

13. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016662544. Ovality2+ / Е.А. Шкуратов, А.В. Выдрин. – № 2016619907; заявл. 22.09.2016; опубл. 15.11.2016. – 1 с.

14. Совершенствование методики определения технологических осей непрерывных станов ТПА 159–426 / Д.В. Лоханов, А.В. Никитин, В.В. Ананян и др. // Производство проката. – 2016. – № 1. – С. 34–38.

15. Особенности определения технологической оси непрерывного трубопрокатного стана с трехвалковыми калибрами / Е.А. Шкуратов, Б.Г. Пьянков, Р.О. Бушин и др. // Трубы–2016: тр. XXII междунар. науч.-практ. конф. – Челябинск, 2016. – Ч. 2. – С. 206–210.

Струин Дмитрий Олегович, канд. техн. наук, заведующий лабораторией продольной прокатки, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; struindo@rosniti.ru.

Выдрин Александр Владимирович, д-р техн. наук, чл.-корр. Российской академии естественных наук (РАЕН), заместитель генерального директора по научной работе, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»); профессор кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; vydrinav@rosniti.ru.

Шеркунов Виктор Георгиевич, д-р техн. наук, профессор кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск.

Шкуратов Евгений Александрович, канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией продольной прокатки, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; shkuratov@rtural.ru.

Черных Иван Николаевич, научный сотрудник лаборатории продольной прокатки, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; chernyh@rosniti.ru.

Сарафанова Ольга Евгеньевна, младший научный сотрудник лаборатории продольной прокатки, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; sarafanova@rosniti.ru.

Мишин Сергей Николаевич, начальник бюро технической проработки и сопровождения тендеров, АО «Волжский трубный завод», г. Волжский; mishinsn@vtz.ru.

Поступила в редакцию 26 февраля 2018 г.

DOI: 10.14529/met180209

DEVELOPMENT OF PIPE ROLLING TECHNOLOGY FOR CONTINUOUS ROLLING MILL WITH RETAINED MANDREL

D.O. Struin¹, struindo@rosniti.ru,
A.V. Vydrin^{1, 2}, vydrinav@rosniti.ru,
V.G. Sherkunov²,
E.A. Shkuratov¹, shkuratov@rosniti.ru,
I.N. Chernyh¹, chernyh@rosniti.ru,
O.E. Sarafanova¹, sarafanova@rosniti.ru,
S.N. Mishin³, mishinsn@vtz.ru

¹ JSC "Russian Research Institute for the Tube and Pipe Industries" (JSC "RosNITI"), Chelyabinsk, Russian Federation,

² South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,

³ JSC "Volzhskiy Pipe Plant", Volzhskiy, Russian Federation

Every year hot-rolled seamless pipes tighten requirements for accuracy of wall thickness, limit deviations in internal or external diameters, ovality and curvature. Therefore, the problem of increasing the accuracy of the geometric parameters of pipes is one of the main problems in the pipe-rolling industry.

The process of rolling seamless pipes on a mandrel and without mandrel using continuous mills is widely used on modern pipe-rolling machines. On a continuous rolling mill with a retained mandrel, seamless pipes with different external diameters are rolled, the dimensions of which indicate the corresponding caliber system. The whole assortment of pipes is obtained at the extraction-calibration, reduction-stretching and calibration mills. In this case, the rolling technology on a continuous rolling mill largely determines the state of the surface and the accuracy of the geometric parameters of the finished pipes.

This article presents a set of works to improve the technology of rolling seamless pipes on a continuous rolling mill with a retained mandrel. The complex of works includes: development and investigation of the influence of different calibrations of continuous roll mill rolls on pipe accuracy and surface condition, investigation of the influence of the parameters of the rolling process on the formation of the end cutting of pipes at hot redistribution, determination and adjustment of the spatial position of the technological equipment of a continuous rolling mill of the relative design axis rolling, the determination of the rational position of the mandrel of a continuous rolling mill in the process of rolling shells. In the work formulas are given for calculating the speed of moving the mandrel of a continuous rolling mill, taking into account the structural composition of the equipment. The formulas are universal and allow you to determine the length of the working part of the mandrel, as well as the minimum and maximum speed of moving the mandrel of a continuous rolling mill.

It is shown that the results of the performed work should be taken into account when designing new pipe-rolling units.

Keywords: pipe rolling mill, pipe, longitudinal rolling, continuous rolling mill, extraction and calibration mill, retained mandrel, rolling axis, roll calibration, caliber system, deformation zone, defects, pipe precision.

References

1. Struin D.O. [On the Problem of Determining the Geometric Parameters for the Rolling of Pipes in Three-Roll Calibers]. *Scientific Search. Engineering: Materials of the Third Scientific Conference Graduate Students and Doctoral Students*. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2011, vol. 2, pp. 72–81. (in Russ.)
2. Struin D.O., Sherkunov V.G., Vydrin A.V., et al. [Method of Calculating the Cross-Sectional Area of the Deformation Center during Rolling of Tubes in Three-Roll Calibers]. *Steel*, 2012, no. 12, pp. 41–44. (in Russ.)
3. Struin D.O. *Sovershenstvovaniye tekhnologii prodol'noy prokatki trub na osnove sozdaniya i ispol'zovaniya novykh nauchno obosnovannykh tekhnicheskikh resheniy: dis. kand. tekhn. nauk* [Perfection of Technology of Longitudinal Rolling of Pipes on the Basis of Creation and Use of New Scientifically Grounded Technical Solutions. Cand. Sci. Diss.]. Chelyabinsk, 2016. 170 p.
4. Livshits D.A., Pyshmintsev I.Yu., Klachkov A.A., Vydrin A.V., Struin D.O., et al. *Kalibr truboprokatnogo stana* [Pipe Mill Calibration]. Patent RU, no. 2530591, 2014.
5. Shveikin V.V. [The Causes of the Formation of Transverse Cracks in the Pipes during Rolling in a Circular Caliber on a Mandrel]. *Steel*, 1949, no. 3. (in Russ.)
6. Pyshmintsev I.Yu., Vydrin A.V., Barichko B.V., Kutepov A.T., et al. [Creation of a Complex of Equipment for Research and Modeling of Pipe Deformation Processes]. *Pipes–2009: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*. Chelyabinsk, OOO Polygraph Master, 2009, pp. 328–331. (in Russ.)
7. Vydrin A.V., Struin D.O., Pyankov B.G., Shirokov V.V., Ashenbrainer A.O., Alutin M.D., Khramkov E.V. [New Possibilities for Physical and Mathematical Modeling of Longitudinal Pipe Rolling Processes]. *Pipes–2012: Proceedings of the 20th Anniversary Scientific and Practical Conference*. Part 2. Chelyabinsk, 2012, pp. 4–8. (in Russ.)
8. Vydrin A.V., Chernykh I.N., Struin D.O., Shkuratov E.A., Khramkov E.V. [Comparative Analysis of the Process of Longitudinal Rolling of Pipes Using Calibers Formed by Different Number of Rolls]. *Pipes–2014: Proceedings of the XXII Scientific and Practical Conference*. Part 2. Chelyabinsk, 2014, pp. 143–150. (in Russ.)
9. Struin D.O., Chernykh I.N. [Experimental Studies of the Calibration of Rolls in Longitudinal Rolling Mills of Longitudinal Rolling]. *Science of SUSU. Materials of the 65th Scientific Conference of the Section of Technical Sciences*. Vol. 2. Chelyabinsk, 2013, pp. 15–18. (in Russ.)
10. Chernykh I.N., Struin D.O., Shkuratov E.A. Defining of End Crops of Pipes Produced at Pipe Rolling Plant with Continuous PQF, FQM Mills. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2014, vol. 14, no. 4, pp. 71–75. (in Russ.)
11. Shkuratov E.A., Vydrin A.V., Struin D.O., Chernykh I.N. Effect of the Degree of Ovality of the Finishing-Stand Passes in a Reeling Mill on the Accuracy Characteristics and Deformation of the Pipe. *Metallurgist*, 2016, vol. 60, pp. 81–86. DOI: 10.1007/s11015-016-0255-1
12. Shkuratov E.A., Vydrin A.V. [Perfection of the Technology of Longitudinal Rolling of Hollow Billets on Continuous Rolling Mills]. *Ferrous Metals*, 2017, no. 3, pp. 42–46. (in Russ.)
13. Shkuratov E.A., Vydrin A.V. Certificate of State Registration of the Computer Program No. 2016662544. Ovality2+. Claiming. 22.09.2016; publ. 11.15.2016. 2016. 1 p.
14. Lokhanov D.V., Nikitin A.V., Ananyan V.V., Tyunyaev A.B., Nyklyaev A.V., Ul'yanov A.G., Barichko B.V., Chernykh I.N., Struin D.O., Shkuratov E.A. [Perfection of the Technique for Determining the Technological Axes of Continuous Mills TPA 159-426]. *Production of Rolled Metal*, 2016, no. 1, pp. 34–38. (in Russ.)

15. Shkuratov E.A., Pyankov B.G., Bushin R.O., Panasenko O.A., Chernykh I.N., Barichko B.V., Struin D.O., Nikitin A.V. [Peculiarities of Determining the Technological Axis of a Continuous Tube Mill with Three-Roll Calibers]. Pipes – 2016: Proceedings of the 22nd International Scientific and Practical Conference. Part 2. Chelyabinsk, 2016, pp. 206–210. (in Russ.)

Received 26 February 2018

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Совершенствование технологии прокатки труб на непрерывном раскатном стане с удерживаемой оправкой / Д.О. Струин, А.В. Выдрин, В.Г. Шеркунов и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2018. – Т. 18, № 2. – С. 72–80. DOI: 10.14529/met180209

FOR CITATION

Struin D.O., Vydrin A.V., Sherkunov V.G., Shkuratov E.A., Chernykh I.N., Sarafanova O.E., Mishin S.N. Development of Pipe Rolling Technology for Continuous Rolling Mill with Retained Mandrel. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2018, vol. 18, no. 2, pp. 72–80. (in Russ.) DOI: 10.14529/met180209
