

**КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЕФОРМИРУЮЩИХ  
КЛЕТЕЙ НЕПРЕРЫВНОГО ТРЕХВАЛКОВОГО  
РАСКАТНОГО СТАНА ДЛЯ ПРОКАТКИ  
ЧЕРНОВЫХ ТРУБ С ПониЖЕННЫМ  
ИЗНОСОМ КАЛИБРОВ**

Я.И. Радькин, Ю.Л. Бобарикин

УО «Гомельский государственный технический университет  
имени П.О. Сухого»  
г. Гомель, Республика Беларусь

*Исследованы калибры прокатных валков деформирующих клетей непрерывного трехвалкового раскатного стана для прокатки черновых труб. С помощью численного моделирования установлено влияние геометрии калибров прокатных валков на их износ при прокатке. Определен вид геометрии калибров прокатных валков деформирующих клетей непрерывного трёхвалкового раскатного стана, позволяющий снизить износ калибров при прокатке.*

**Ключевые слова:** бесшовные трубы, непрерывная раскатка, моделирование износа, калибры прокатных валков

**THE CALIBRATION OF THE MILL  
ROLLS OF DEFORMING STANDS OF A CONTINUOUS  
THREE ROLL REELING MILL FOR THE ROLLING  
OF ROUGH TUBES WITH THE REDUCED WEAR OF CALIBERS**

Ya. Radkin, Yu. Bobarikin

Sukhoi State Technical University of Gomel  
Gomel, Republic of Belarus

*The calibers of the mill rolls of deforming stands of a continuous three roll reeling mill for the rolling of rough tubes are examined. By means of numerical simulation the influence of the geometry of calibers of mill rolls on their wear during the rolling is determined. The form of the geometry of calibers of mill rolls of deforming stands of a continuous three roll reeling mill, which reduces the wear of calibers during the rolling, is determined.*

**Keywords:** seamless pipes, continuous elongating process, wear simulation, calibers of mill rolls

**E-mail:** yradkin@gmail.com

## Введение

Трёхвалковые непрерывные раскатные станы широко применяются при производстве горячедеформированных бесшовных труб на этапе получения черновой трубы из полой заготовки. Этап формирования черновой трубы оказывает существенное влияние на качество конечной продукции, так как на данном этапе закладываются основные механические свойства горячедеформированных бесшовных труб.

Процесс раскатки осуществляется деформацией стенки полой заготовки между прокатными валками и раскатной оправкой [1]. Раскатная оправка может свободно перемещаться за счёт действующих сил трения. Раскатная оправка может двигаться с постоянной скоростью в направлении прокатки при помощи специальных удерживающих устройств – в этом случае оправка имеет удерживаемый контролируемо-перемещаемый тип. В современной практике удерживаемые контролируемо-перемещаемые раскатные оправки применяются ведущими производителями бесшовных труб. Качество контактной поверхности прокатного инструмента в значительной степени определяет качество горячедеформированных бесшовных труб. Известно, что существенное влияние на возникновение износа и дефектов на поверхности прокатного инструмента оказывают эксплуатационные параметры процесса раскатки, такие как скоростные режимы прокатки, геометрические параметры прокатного инструмента, температурные режимы и т.д. [2]. В предыдущих работах были проведены исследования и разработан комплекс мероприятий по снижению износа контактной поверхности раскатных оправок [2, 3], однако нерешённой задачей трубного производства является снижение износа рабочей поверхности прокатных валков.

При раскатке черновых труб применяются следующие типы калибров: круглые с прямыми либо закруглёнными выпусками или овальные калибры (рис. 1) [4], которые характеризуются следующими геометрическими параметрами:  $R$  – радиус калибра;  $R_v$  – радиус которым ограничен выпуск калибра (при прямых выпусках), радиус выпуска (при скруглённых выпусках);  $r$  – радиус закругления калибра;  $h$  – высота калибра;  $b$  – ширина калибра;  $e$  – эксцентриситет калибра.

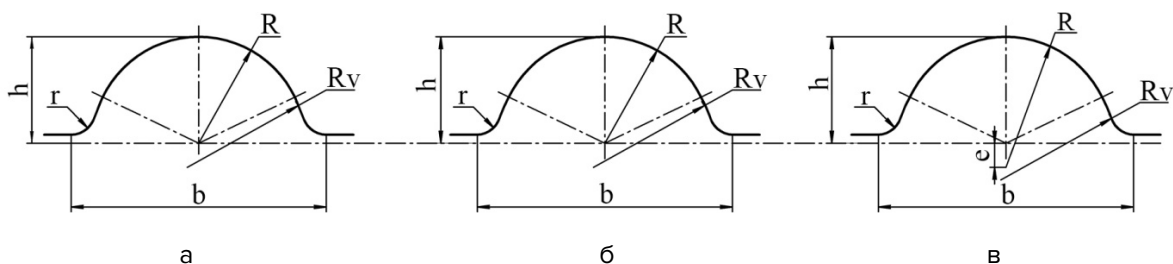


Рис. 1. Типы калибров применяемых при раскатке черновых труб:

*a* – круглые с прямыми выпусками; *б* – круглые со скруглёнными выпусками; *в* – овальные калибры

Круглые калибры обеспечивают наиболее равномерную толщину стенки, однако их недостатком является затруднённый захват заготовки, а так же извлечение оправки из черновой трубы, вследствие её плотного обхвата заготовкой. Применение овальных калибров обеспечивает более интенсивное течение металла и улучшенный захват заготовки, однако неравномерность обжатия трубной заготовки по сечению способствует появлению повышенной разностенности черновых труб [4]. В современных раскатных станах применяется комбинированная система калибров, при которых в качестве деформирующих применяются овальные калибры, а в качестве калибрующих, на выходе из раскатного стана, устанавливают круглые калибры. В таких си-

стемах наибольшему износу подвергаются овальные деформирующие калибры из-за неравномерного распределения металла по рабочей поверхности калибра.

**Цель работы:** Определение геометрии деформирующих калибров прокатных валков трёхвалкового непрерывного раскатного стана, которая позволит снизить износ прокатных валков в процессе производства черновых труб.

### Методы и исходные данные для исследования

В качестве метода исследования механизма образования износа на рабочей поверхности прокатных валков был выбран метод конечных элементов, основанный на построении адекватных численных моделей технологических процессов. Современные программные пакеты позволяют производить объёмные вычисления и создавать численные модели технологических процессов обработки материалов, которые позволяют получить достаточно корректную информацию о напряжённо-деформированном состоянии, температурном состоянии материала в процессе обработки, а также прогнозировать появление дефектов и износа технологического инструмента в процессе эксплуатации [5]. Применение численных моделей даёт возможность производить исследования для оптимизации процессов производства горячедеформированных бесшовных труб, без необходимости производить дорогостоящие натуральные эксперименты на действующем оборудовании.

Исследовался процесс раскатки полой заготовки в черновую трубу для производства трубного профиля 168,3 × 4,5 мм из стали 20. Для исследования износа рабочей поверхности прокатных валков была использована адекватная численная модель процесса раскатки черновых труб [2]. Входные данные для численной модели были приняты из таблицы прокатки, настроечных параметров раскатного стана для производства трубного профиля 168,3 × 4,5 мм.

Табл. 1

**Настроечные параметры трёхвалкового непрерывного раскатного стана для производства профиля 168,3 × 4,5 мм из стали 20**

Диаметр полой заготовки, мм		215
Толщина стенки полой заготовки, мм		13,8
Диаметр черновой трубы, мм		184,3
Толщина черновой трубы, мм		4,38
Температура прокатки, °С		1080
Скорость контролируемо-перемещаемой оправки, м/с		2,3
Скорость прокатных клеток, об/мин	клеть 1	497
	клеть 2	569,3
	клеть 3	673
	клеть 4	656,5
	клеть 5	639

При моделировании процесса раскатки полой заготовки в черновую трубу были приняты следующие допущения:

- валки и оправка были приняты абсолютно жёсткими телами;
- вся заготовка нагрета по объёму до температуры 1080 °С;
- температура валков и оправки в процессе раскатки постоянна;

- контактное трение подчиняется закону Амонтона-Куллона;
- вид трения – полусухой.

При численном моделировании для материала полой заготовки была принята упругопластическая модель Мизеса. Моделирование износа прокатного инструмента использовалась модель износа Арчарда.

Раскатной стан состоит из пяти трёхвалковых последовательно расположенных клетей. Первая клеть предназначена для обжатия полой заготовки на оправки, на второй и третьей клетях происходит основная деформация металла, четвёртая и пятая клеть являются калибрующими, предназначенные для формирования окончательного профиля черновой трубы.

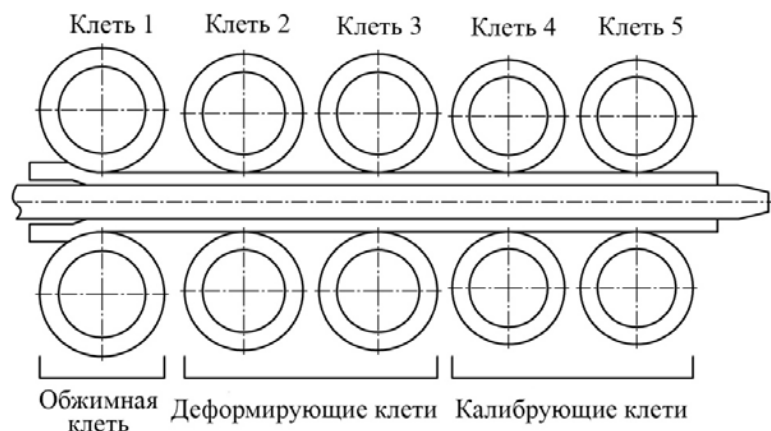


Рис. 2. Схема расположения клетей непрерывного раскатного стана

Наибольшему износу подвержены калибры второй и третьей клетки, так как в них происходит основная деформация стенки трубы. Исследования должны определить вид геометрии калибров деформирующих клетей с целью снижения износа рабочей поверхности калибров.

Был проведён ряд численных экспериментов с различными калибровками прокатных валков на деформирующих клетях. Геометрические параметры калибров для деформирующих клетей представлены в табл. 2.

Табл. 2

**Геометрические параметры калибровки деформирующих клетей непрерывного раскатного стана для производства трубного профиля 168,3 × 4,5 мм из стали 20**

Параметр	Клеть 2			Клеть 3		
	Круглый с прямым выпуском	Круглый с закруглённым выпуском	Овальный	Круглый с прямым выпуском	Круглый с закруглённым выпуском	Овальный
<i>R</i> , мм	96,1	96,1	98,9	90,2	90,2	92
<i>R<sub>v</sub></i> , мм	289,5	292,7	296,2	310,5	313,1	315,5
<i>r</i> , мм	33,3	34,3	35,6	25,1	25,9	26,8
<i>h</i> , мм	96,1	96,1	96,9	84,7	84,7	84,7
<i>b</i> , мм	170,4	170,4	170,4	166,6	166,6	166,6
<i>e</i> , мм	0	0	2,8	0	0	1,8

### Результаты исследования

При помощи численного моделирования были получены результаты по распределению контактных давлений на поверхности контакта между обрабатываемым металлом и калибрами второй (рис. 3) и третьей (рис. 4) клетей.

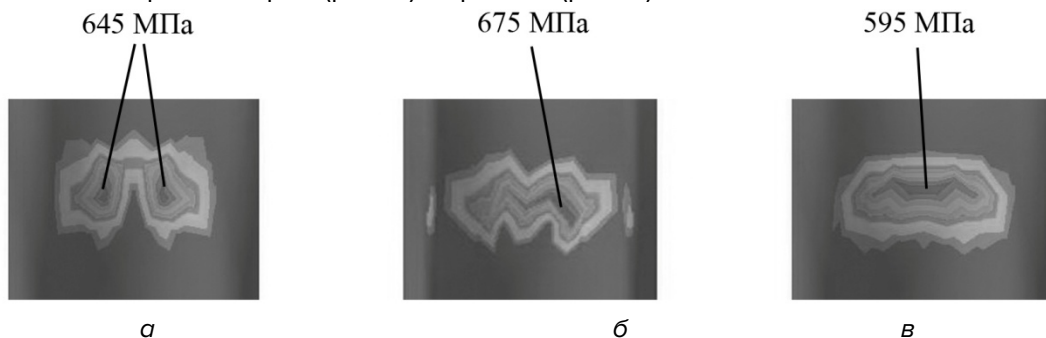


Рис. 3. Контактные давления во второй клетке, МПа:  
а – круглые с прямыми выпусками; б – круглые со скруглёнными выпусками; в – овальные калибры

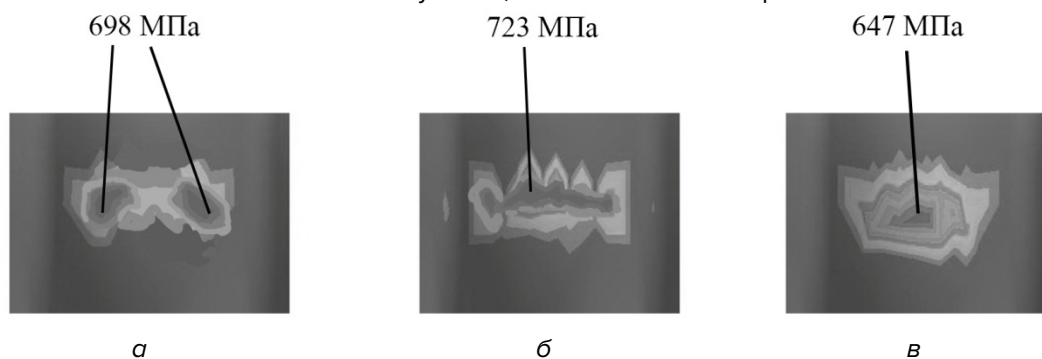


Рис.4. Контактные давления в третьей клетке, МПа:  
а – круглые с прямыми выпусками; б – круглые со скруглёнными выпусками; в – овальные калибры

Исходя из полученных полей распределений контактных давлений можно увидеть, что при использовании овальных калибров захват металла валками происходит в первую очередь вершиной калибров, а затем выпусками, позволяя металлу перемещаться в направлении выпусков калибра. В круглых же калибрах захват осуществляется вначале выпусками, а затем вершиной калибра, это затрудняет течение металла в поперечном сечении и приводит к увеличению контактных давлений на рабочей поверхности вала. Использование овальных калибров в деформирующих клетях позволяет снизить усилия действующие на валки и более равномерно распределить нагрузки по рабочей поверхности калибра действующие со стороны обрабатываемого металла. Результаты исследования нагрузки на прокатных валках в деформирующих клетях с различными типами калибров представлены на табл. 3.

Табл. 3

#### Усилие действующее на валки деформирующих клетей непрерывного стана с различными типами калибров

№ клетки	Усилие действующее на прокатную клетку, кН		
	круглый с прямым выпуском	круглый с закруглённым выпуском	овальный
Клетка 2	1815	1822	1723
Клетка 3	1669	1691	1604

Из полученных результатов (табл. 3) следует, что использование овальных калибров позволяет снизить нагрузки, действующие на прокатные валки, что должно привести к увеличению их стойкости к износу. При помощи модели абразивного износа Арчарда были получены данные по величине износа контактной поверхности валков за 200 циклов раскатки. При помощи цветокодированных диаграмм распределения износа были определены участки калибров деформирующих клеток, которые наиболее подвержены износу. Величина износа поверхности калибров за 200 циклов прокатки представлена на рис. 5, 6.

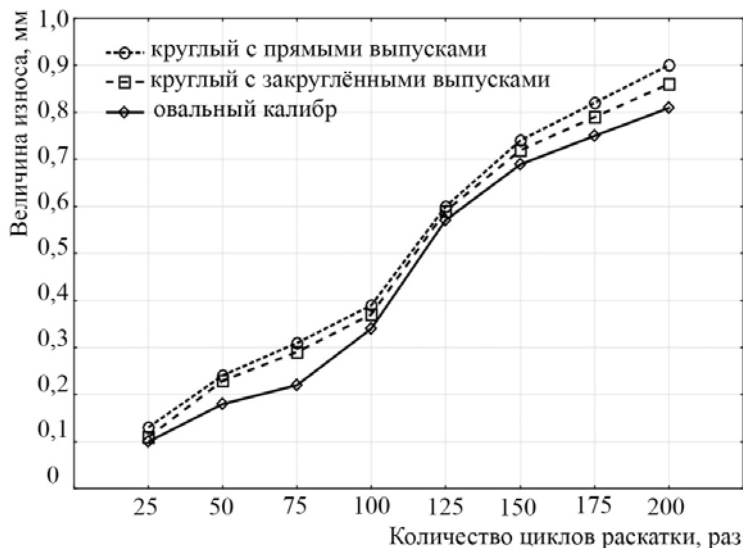


Рис. 5. Результаты моделирования износа второй клетки непрерывного раскатного стана

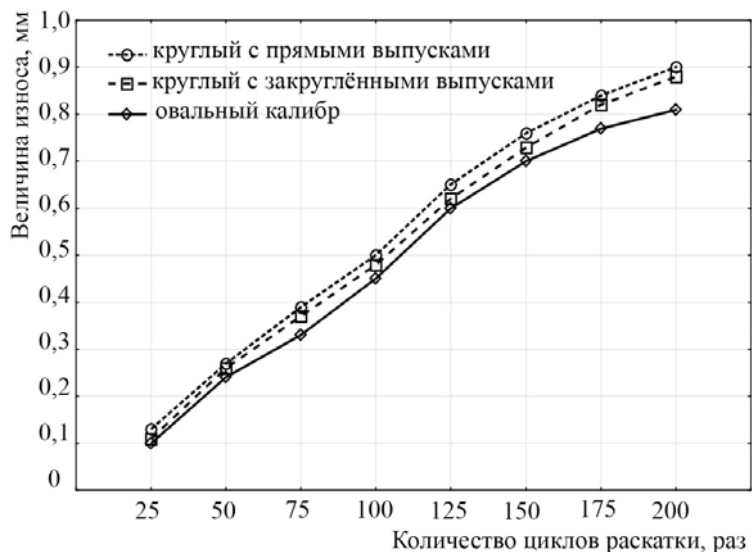


Рис. 6. Результаты моделирования износа третьей клетки непрерывного раскатного стана

При использовании овальных калибров для деформирующих клеток износ валков имеет меньшую величину по сравнению с круглыми калибрами. Объяснить снижение износа можно более равномерным заполнением калибра и созданием условий для течения металла в продольном и поперечном направлениях очага деформации. Применение овальных калибров с приведенными параметрами позволяет получить равномерное пятно контакта между обрабатываемым металлом трубы и поверхностью

валка, без участков с повышенными значениями контактных давлений на поверхности калибров деформирующих клетей. В этой связи можно утверждать, что применение овальных калибров с приведенными в табл. 2 геометрическими параметрами снижает износ калибров при раскатке черновых труб.

### Заключение

Определено влияние геометрии калибров прокатных валков для деформирующих клетей непрерывного трёхвалкового раскатного стана на величину износа этих калибров при прокатке.

Определена величина износа рабочей поверхности прокатных валков непрерывного стана для производства трубного профиля 168,3 × 4,5 мм из стали 20 при использовании различных видов калибров деформирующих клетей.

Определено, что использование овальных калибров в деформирующих клетях непрерывного трёхвалкового раскатного стана позволяет снизить нагрузки, действующие на калибры прокатных валков вследствие более равномерного заполнения калибров обрабатываемым металлом трубы. В этой связи применение овальных калибров позволит повысить ресурс работы этих калибров и прокатных валков деформирующих клетей раскатного стана.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Технология трубного производства / В.Н. Данченко [и др.]. – Интермет инжиниринг, 2002. 638 с.
2. Бобарикин, Ю.Л. Разработка мероприятий по снижению износа контро-лируемо-перемещаемой оправки непрерывного трехвалкового раскатного стана для прокатки черновых труб / Ю.Л. Бобарикин, Я.И. Радькин // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: Сб. научных трудов. В 3 кн. Кн. 3. Обработка металлов давлением / редколлегия: А.В. Белый (гл.ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2017. – 129 с.
3. Бобарикин, Ю.Л. Определение оптимальной скорости оправки раскатного непрерывного прокатного стана с помощью численного моделирования / Ю.Л. Бобарикин, Я.И. Радькин // Литье и металлургия.– 2017; (1): 86-92 с.
4. Матвеев, Ю.М. Калибровка инструмента трубных станов / Ю.М. Матвеев, Я.Л. Ваткин. – Изд. 2-е., Изв-во «Металлургия», 1970, 480 с.
5. Yu. Bobarikin, Ya. Radkin, Forecasting and reduction of the rolling tool wear during continuous rolling of rough tubes, XVIII International scientific conference, New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics, A collective monograph edited by Jarosław Boryca, Dorota Musiał, Series: Monografie Nr 68, Czhestachowa, 2017

### REFERENCES

1. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romancev B.A., Samusev C.B. Tekhnologiya trubnogo proizvodstva [Tube production technology]. Moscow, Internet inzhiniring Publ., 2002. 638 p. (in Russian)
2. Bobarikin Yu., Radkin Ya. Razrabotka meropriyatij po snizheniyu iznosa kontroliruemo-peremeshchaemoj opravki nepreryvnogo trekhvalkovogo raskatnogo stana dlya prokatki chernovyh trub [Development of activities intended to reduce the wear of a controlled- movable mandrel of a continuous three roll reeling mill designed for rolling rough tubes] / Sovremennye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing]. Collection of scientific papers, Minsk, FTI NAN Belarus [PTI NAS Belarus], A.V. Byeli (ed.), 2017, vol. 3, pp. 98–105. (in Russian)
3. Bobarikin Yu.L., Rad'kin YA.I. Opredelenie optimal'noj skorosti opravki raskatnogo nepreryvnogo prokatnogo stana s pomoshch'yu chislenno modelirovaniya [Determination of the optimal speed of the mandrel in the reeling mill by means of numerical simulation], 2017; Lit'e i metallurgiya. iss.1, pp. 86–92. (in Russian)
4. Matveev Yu.M., Vatkin YA.L. Kalibrovka instrumenta trubnyh stanov [Colibration of the instrument of tube rolling mills]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1970, 480 p. (in Russian)
5. Bobarikin Yu., Radkin Ya. Forecasting and reduction of the rolling tool wear during continuous rolling of rough tubes, XVIII International scientific conference, New technologies and achievements in metallurgy, material engineering, production engineering and physics, A collective monograph edited by Jarosław Boryca, Dorota Musiał, Series: Monografie Nr 68, Czhestachowa, 2017.

*Статья поступила в редакцию в окончательном варианте 02.05.18*