

УДК 621.771.073.8

**ИССЛЕДОВАНИЕ УШИРЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРИ ПРОКАТКЕ  
В ГЛАДКИХ БОЧКАХ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**В. В. Кухаренко**

*Открытое акционерное общество «Белорусский  
металлургический завод» – управляющая компания холдинга  
«Белорусская металлургическая компания», г. Жлобин*

**А. Ю. Вальковский**

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. В. Астапенко

*Представлены результаты исследования пластической деформации овальной полосы из рессорной стали при прокатке в гладких бочках моделированием по методу конечных элементов. Определена зависимость уширения плоской полосы при прокатке в валках с гладкой бочкой.*

**Ключевые слова:** рессорная сталь, калибровка, моделирование, метод конечных элементов, уширение, пластическая деформация.

**RESEARCH OF MICROSTRUCTURE ZONES  
OF ROLLED COIL FROM BEARING STEEL**

**V. V. Kukhareno**

*Belarusian Steel Works – the management company of the BMC holding,  
Zhlobin*

**A. Yu. Valkovsky**

*Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Science supervisor I. V. Astapenko

*The results of the study of plastic deformation of an oval strip of spring steel during rolling in smooth barrels by modeling using the finite element method are presented. The dependence of the widening of a flat strip during rolling in rolls with a smooth barrel is determined.*

**Keywords:** spring steel, calibration, modeling, finite element method, broadening, plastic deformation.

Цель работы – разработать калибровку валков для прокатки полосы  $90 \times 24$  из рессорной стали 50ХГФАв линии сорта стана 370/150 (рис. 1).

Поставленная цель достигается решением следующих задач:

- определение и анализ деформационно-кинематических и энергосиловых параметров прокатки плоской полосы из клетки № 16 в гладких бочках клетки № 18;
- моделирование по МКЭ прокатки плоской полосы в гладких бочках клетки № 18 линии сорта стана 370/150 СПЦ-2;
- анализ результатов и формулирование выводов.

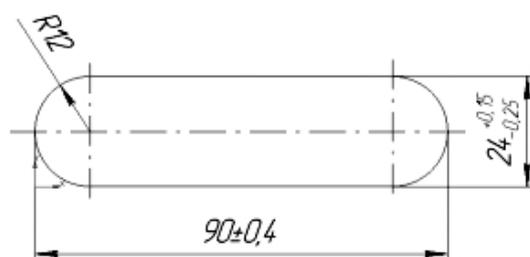


Рис. 1. Форма и геометрия полосовой рессорной стали в соответствии с ГОСТ 7419

Объектом исследования в работе является технологический процесс прокатки полосовой рессорной стали в условиях мелкосортно-проволочного стана 370/150.

В настоящее время осуществляется разработка технологии и освоение производства рессорной полосовой стали в соответствии с ГОСТ 14959 и ГОСТ 7419. В сортаменте прокатного производства полосовой прокат не производится. Поэтому при разработке технологии необходимо было решать задачи, характерные для прокатки плоских полос.

Характерными проблемами прокатки плоской полосы являются:

- определение уширения полосы при прокатке в гладких бочках;
- определение скоростного режима;
- определение энергосиловых параметров.

Прокатка на гладких бочках осуществляется при производстве арматурных профилей по «слиттинг-процессу» [1]. Учитывая этот опыт, была разработана калибровка для линии сорта с универсальными калибрами до овала клетки № 14 [2] и дальнейшей прокаткой на гладких бочках в клетях № 16, 18, 20. В чистовом блоке HRSM (клетки № 22–24) прокатка осуществлялась по схеме «плоская бочка – контрольный калибр – плоская бочка». Построение контрольного калибра клетки № 23 для контроля ширины выполняли по опыту «слиттинг-процесса» с учетом боковых радиусов [3].

Поскольку пластическая деформация происходит по схеме «прокатка высокой полосы», аналитический расчет уширения по известным формулам дает высокую погрешность [4]. Для определения уширения в клетях № 18 при прокатке «плоская полоса в гладких бочках» была построена модель и выполнены численные эксперименты по методу конечных элементов.

Исходные данные параметров для моделирования технологического процесса представлены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные численного эксперимента процесса прокатки в клетях № 16

Технологические параметры	Клеть № 16	Клеть № 18
Диаметр валков $D_v$ , мм	450	450
Ширина полосы в калибре $B$ , мм	86,3	90,1
Относительное обжатие полосы $\varepsilon_i$ , %	3,7	11,9
Скорость прокатки $v$ , м/с	2,06	2,34
Частота вращения валков $n$ , об/мин	87,4	99,3

Проектная геометрия раската в клетях № 16 и № 18 приведена на рис. 2.

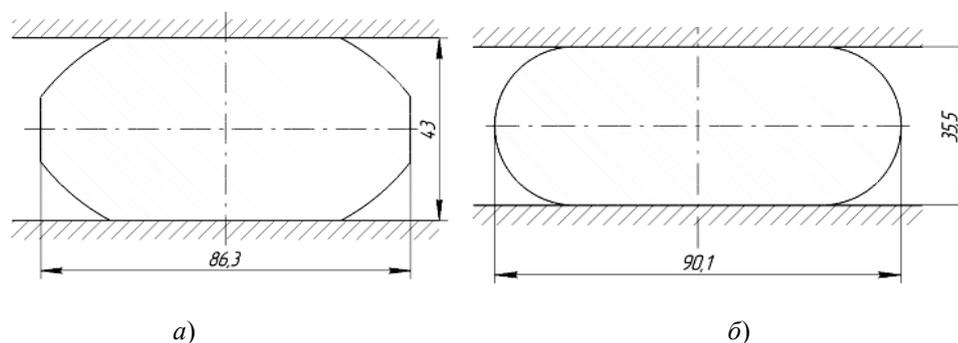


Рис. 2. Проектная геометрия раската:  
а – клеть № 16; б – клеть № 18

По результатам численного эксперимента были получены данные по уширению плоской полосы в клетях №18 в зависимости от величины обжатия (табл. 2).

Таблица 2

**Энергосиловые и скоростные параметры процесса прокатки в клетях № 16**

Обжатие $\Delta h$ , мм	2,5	5	7,5	10	12,5
Уширение $\Delta b$ , мм	1,1	2,25	3,8	5,7	8,2

После проведения числительных экспериментов была выполнена обработка их результатов инструментами математической статистики в программном пакете EXEL. Определена математическая зависимость уширения плоской полосы  $86,3 \times 43$  при прокатке в гладких бочках с диапазоном обжатий  $\Delta h = 2,5-12,5$  мм (рис. 3).

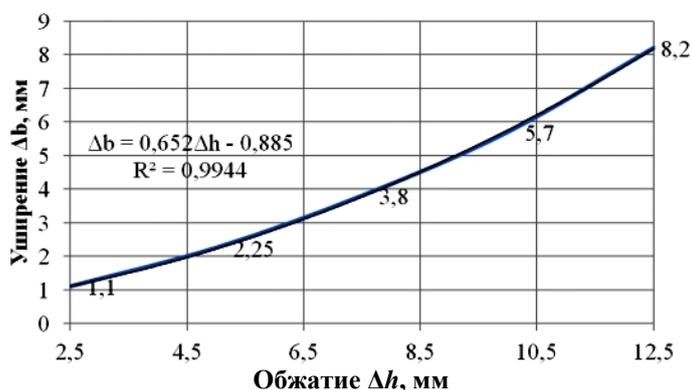


Рис. 3. Зависимость уширения полосы в клетях № 18 от степени обжатия

Получены следующие результаты исследования:

- 1) изучен и выполнен анализ особенностей уширения плоской полосы в гладких бочках путем численного моделирования по методу конечных элементов;
- 2) определена математическая зависимость изменения ширины полосы в клетях № 18 в зависимости от степени обжатия.

## Литература

1. Барановский, Д. С. Конструктивные решения контроля ширины полосы для горячей прокатки по «слиттинг-процессу» / Д. С. Барановский // Беларусь в современном мире : материалы XIV Междунар. науч. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 13–14 мая 2021 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Гомел. обл. орг. «Белорус. о-во «Знание» ; под общ. ред. В. В. Кириенко. – Гомель, 2021. – С. 250–253.
2. Разработка технологии и освоение производства арматуры № 6 класса прочности А500С формы 2ф в бухтах по требованиям ГОСТ 34028–2016 / С. А. Савченко [и др.] // Литье и металлургия. – 2024. – № 1. – С. 39–46. DOI: 10.21122/1683-6065-2024-1-39-46
3. Барановский, Д. С. Совершенствование прокатки по «слиттинг-процессу» в контрольном калибре стана 320 ОАО «БМЗ» / Д. С. Барановский // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XXI Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 22–23 апр. 2021 г. : в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2021. – Ч. 1. – С. 93–97.
4. Астапенко, И. В. Особенности горячей прокатки высоких полос в ящичном калибре / И. В. Астапенко, Д. М. Васильков // Современные проблемы машиноведения : материалы XII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. П. О. Сухому), Гомель, 22–23 нояб. 2018 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Фил. ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого». – Гомель, 2018. – С. 114–117.

УДК 621.865.8-529

**РАСЧЕТ ПОЛОЖЕНИЯ И РАСПОЛОЖЕНИЯ СХВАТА РОБОТА  
В СПЕЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ****А. Е. Марченко***Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. И. Михайлов

*Произведен расчет положения и расположения схвата робота в специальной системе координат. В результате проведенного расчета были определены значения координат положения и расположения схвата робота.*

*В производстве широко используются робототехнические комплексы с шестизвенными манипуляторами, выполняющие основные (формообразование, изменение размеров заготовок) и вспомогательные (загрузка, выгрузка) операции. Манипуляторы исключают влияние человеческого фактора и выполнение монотонных операций с высокой точностью, создавая новые процессы и снижая негативное воздействие на человека. Для эффективной работы необходимо точное управление траекторией и скоростью манипуляторов.*

**Ключевые слова:** стационарный робот, задача кинематики, точность перемещений и поворотов, положение и расположение схвата.

**CALCULATION OF THE POSITION AND ORIENTATION  
OF THE ROBOT GRIPPER IN A SPECIAL COORDINATE SYSTEM****A. E. Marchenko***Sukhoi State Technical University of Gomel, Republic of Belarus*

Science supervisor M. I. Mikhailov

*The calculation of the position and orientation of the robot gripper in a special coordinate system has been carried out. As a result, the coordinates of the position and orientation of the robot gripper were determined.*