

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА КИНЕМАТИЧЕСКОГО НАТЯЖЕНИЯ НА ФОРМОИЗМЕНЕНИЕ ТРУБЫ В ВЫПУСКАХ КАЛИБРА ПРИ ПРОКАТКЕ НА КОРОТКОЙ ОПРАВКЕ

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

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,  
г. Екатеринбург*

На трубопрокатном агрегате ТПА-140 ОАО «Синарский трубный завод» с автоматическим раскатным станом «тандем» прокатывают трубы из углеродистых и легированных марок стали ответственного назначения: бурильные, обсадные, для энергомашиностроения и другие диаметром от 73 до 168 мм с толщиной стенки от 5 до 23 мм. Для снижения себестоимости стоит задача освоения производства всего сортамента ТПА-140 из НЛЗ диаметром 150,0 или 156,0 мм на существующем оборудовании, т. е. исключение из производства катаной заготовки диаметром 120,0 мм. Для освоения НЛЗ необходимо увеличить коэффициент вытяжки на автомат-стане «тандем». В настоящее время коэффициент вытяжки на СПП-1 (стан продольной прокатки труб) находится в пределах 1,16–1,5, а на СПП-2 – 1,07–1,15. Применение больших обжатий вызывает появление продольного дефекта «риска» на поверхности труб. В статье представлены результаты исследования снижения размеров лампасов труб и, как следствие, уменьшение объема брака по дефекту «риска» за счет применения кинематического натяжения в процессе раскатки на короткой оправке предварительно овализированной гильзы. 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 позволяет уменьшить вероятность образования продольных рисков на внутренней поверхности труб. Показана возможность увеличения коэффициента вытяжки при прокатке на автоматическом стане «тандем».

*Ключевые слова: раскатка труб; короткая оправка; автомат-стан «тандем»; конечно-элементное моделирование; коэффициент овализации.*

## **Введение**

На трубопрокатном агрегате ТПА-140 ОАО «Синарский трубный завод» с автомат-станом «тандем» прокатывают трубы из углеродистых и легированных марок стали ответственного назначения: бурильные, обсадные, для энергомашиностроения диаметром от 73 до 168 мм с толщиной стенки от 5 до 20 мм. В состав ТПА-140 входит автоматический стан «тандем», который состоит из двух последовательно расположенных клетей продольной прокатки (СПП-1 и СПП-2).

### **1. Постановка проблемы**

В настоящее время на ТПА-140 при производстве труб используется как катаная (диаметром 120 мм), так и непрерывнолитая заготовка (диаметром 150 и 156 мм). Использование непрерывнолитой заготовки является экономически более выгодным. В этой связи важной целью является разработка технологии производства всего сортамента горячекатаных труб из непрерывнолитой заготовки. Для достижения поставленной цели необходимо разработать технологию раскатки с повышенным коэффициентом вытяжки.

В ходе промышленных наблюдений было установлено, что увеличение коэффициента вытяжки на автоматическом стане «тандем» приводит к росту объема брака труб по дефекту «риска». В настоящее время нет однозначного мнения о причи-

нах появления продольной риски на внутренней поверхности трубы в процессе прокатки труб на автомат-стане «тандем».

В статье [1] авторы полагают, что наиболее вероятной причиной образования риски является встречное течение металла при деформации лампасов в вершинах калибра СПП-2. Кроме того, было показано, что с увеличением коэффициента вытяжки и толщины стенки в выпусках калибра возрастает вероятность образования дефекта.

В ходе предшествующих исследований [2, 3] было установлено, что при использовании эджерных вертикальных валков с коэффициентом овализации 1,25 перед рабочей клетью СПП-1 удается повысить коэффициент вытяжки с 1,5 до 1,99. При этом не происходит увеличения вероятности образования дефекта «риска» на поверхности труб.

Задачей дальнейшего исследования являлось определение влияния натяжения при прокатке гильзы в СПП-1 на толщину стенки в выпусках калибра.

### **2. Исследование влияния натяжения на формоизменение металла в выпуске калибра при прокатке на СПП-1**

Исследование проводилось в программном комплексе Deform-3D. В ходе исследования, как и в [2, 3] гильзе придавалась овальная форма перед прокаткой на короткой оправке с помощью эджер-

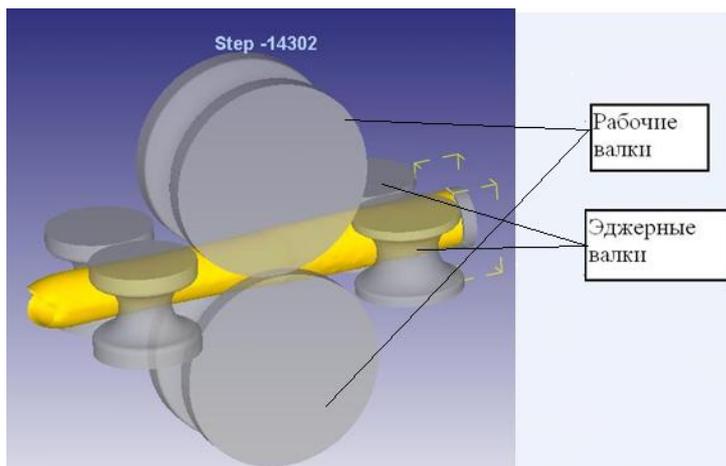


Рис. 1. 3D-модель СПП-1 с эджерными валками

Таблица 1

Матрица вычислительных экспериментов

| № эксперимента | Диаметр гильзы $D_g$ , мм | Толщина стенки гильзы $S_g$ , мм | Диаметр черновой трубы $D_ч$ , мм | Толщина стенки черновой трубы $S_ч$ , мм | Коэффициент вытяжки $\lambda$ на СПП-1 | Коэффициент натяжения $\omega$ |
|----------------|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|--|--|--------------------------------|
| 1              | 166                       | 13                               | 160                               | 7  | 1,99                                   | 1,02                           |
| 2              |                           |                                  |                                   |  |  | 1,04                           |
| 3              |                           |                                  |                                   |  |  | 1,06                           |
| 4              |                           |                                  |                                   |  |  | 1,08                           |
| 5              |                           |                                  |                                   |  |  | 1,1                            |
| 6              |                           |                                  |                                   |  |  | 1,2                            |

ных валков с коэффициентом овализации 1,25, установленных перед клетью СПП-1. Для создания натяжения на выходной стороне СПП-1 были установлены эджерные валки (рис. 1), форма калибра которых соответствовала форме черновой трубы, полученной при моделировании процесса прокатки в СПП-1 с коэффициентом вытяжки 1,99 [3].

Матрица вычислительных экспериментов представлена в табл. 1. Варьируемым параметром во всех вычислительных экспериментах являлся коэффициент кинематического натяжения  $\omega$ , который представляет собой отношение окружной скорости рабочих валков к окружной скорости вертикальных эджерных валков. Варьирование  $\omega$  осуществлялось за счет изменения окружной скорости эджерных роликов, установленных за рабочей клетью СПП-1.

По рекомендации разработчиков программы и с учетом практических данных о прокатке труб на автоматическом стане «тандем» температура трубы была выбрана  $\theta = 1200$  °С, температура валков и оправки  $\theta = 150$  °С, температура воздуха  $\theta = 20$  °С. Теплоотдача от заготовки к инструменту была задана коэффициентом теплопередачи  $\chi = 5$  Вт/м<sup>3</sup>К. Для уменьшения времени расчета в очагах деформации были созданы окна плотности с размером элементов 5 мм. Вне окон плотности

размер элементов составлял 19 мм. Степень деформации элемента, при достижении которой происходит автоматическое обновление сетки, была принята равной  $\epsilon = 0,15$ . На поверхности инструмента граничные условия были заданы следующим образом: нормальная составляющая скорости частиц металла  $V_n|_{S_s} = 0$ ; закон трения был задан по Зибелю  $\tau_{i|S_s} = \psi \tau_s$ . Показатель напряжения трения на рабочих и эджерных валках был принят равным  $\psi = 0,7$ , на оправке –  $\psi = 0,2$ . Скорость вращения валков на СПП-1 принята равной 125 об/мин. В качестве материала заготовки использовалась сталь AISI-1045, являющаяся аналогом российской стали 45. При постановке тепловой задачи температура заготовки принималась равной 1200 °С, а инструмента – 150 °С. Скорость перемещения толкателя была принята равной 20 мм/с.

В каждом вычислительном эксперименте после моделирования процесса раскатки гильзы на короткой оправке производилось измерение толщины стенки в выпуске  $S_{вып}$  и вершине  $S_{верш}$  калибра, а затем вычислялся безразмерный параметр  $\left(\frac{S_{вып}}{S_{верш}}\right)_i$ , где  $i$  – номер вычислительного эксперимента (табл. 2). По данным табл. 2 была построена диаграмма, которая представлена на рис. 2.

## Обработка металлов давлением

В вычислительном эксперименте № 6 произошло искажение геометрии трубы на выходе из эджерных валков (рис. 3), поэтому параметр  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верх}}(i)}$  не измерялся.

**Таблица 2**  
**Результаты измерения параметра  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верх}}(i)}$ , характеризующего формоизменение в выпуске калибра**

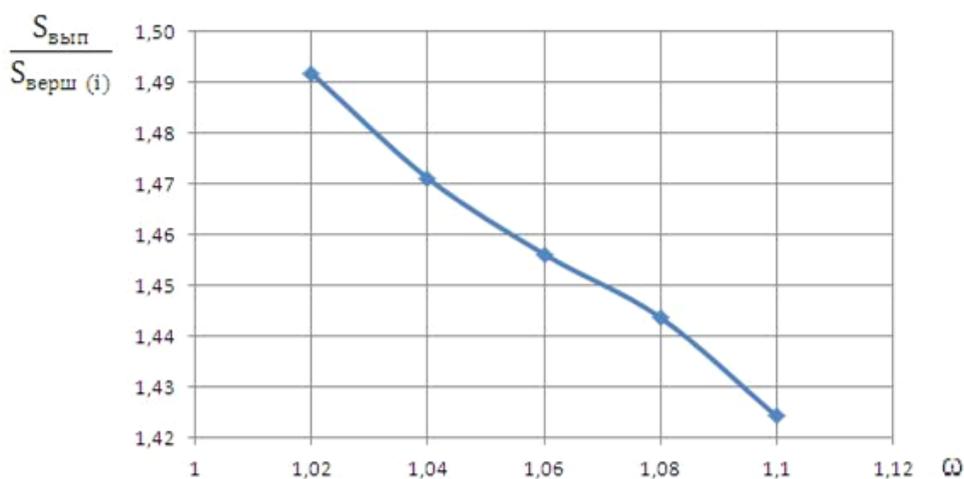
| Номер вычислительного эксперимента          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6   |
|---|------|------|------|------|------|-----|
| Коэффициент натяжения $\omega$              | 1,02 | 1,04 | 1,06 | 1,08 | 1,1  | 1,2 |
| $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верх}}(i)}$ | 1,49 | 1,47 | 1,46 | 1,44 | 1,42 | –   |

Из табл. 2 и рис. 2 видно, что с увеличением коэффициента кинематического натяжения  $\omega$  происходит уменьшение безразмерного параметра

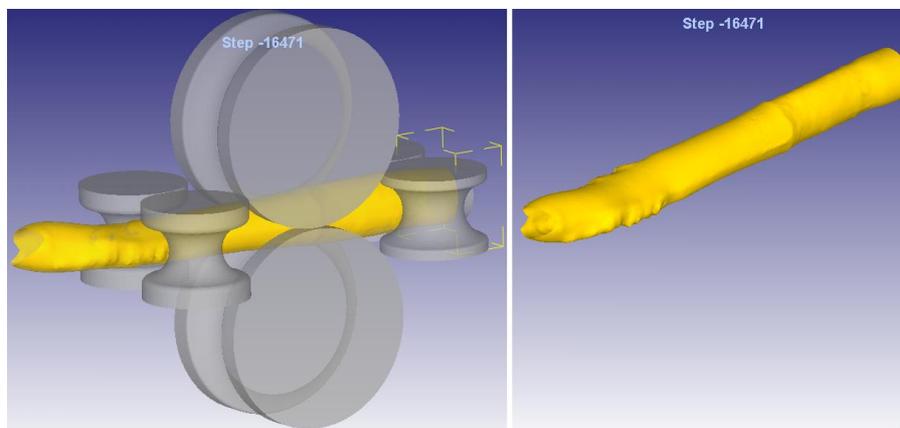
$\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верх}}(i)}$ , т. е. уменьшается поперечная разностность черновой трубы. Также следует отметить, что при прокатке с натяжением параметр  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верх}}(i)}$  принимает меньшие значения, чем при прокатке без натяжения [3]. Таким образом, применение кинематического натяжения создает резерв для увеличения коэффициента вытяжки на СПП-1 более 1,99.

### Заключение

В ходе исследования было 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 позволяет уменьшить вероятность образования продольных рисок на внутренней поверхности труб. Кроме того, при прокатке гильзы-трубы в СПП-1 с натяжением коэффициент вытяжки может быть увеличен.



**Рис. 2.** Зависимость параметра  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верх}}(i)}$  от коэффициента кинематического натяжения  $\omega$



**Рис. 3.** Искажение геометрии трубы на выходе из эджерных валков

**Литература**

1. Моделирование образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб при продольной прокатке / А.А. Богатов, Д.А. Павлов, С.В. Липнягов, В.Н. Суворов // *Производство проката*. – 2012. – № 8. – С. 37–39.

2. Богатов, А.А. Разработка нового способа продольной прокатки труб на короткой оправке / А.А. Богатов, Е.А. Дресвянкина, Д.А. Павлов //

*Новые технологии и достижения в металлургии, материаловедение и технологическое проектирование: сб. тр. XV междунар. конф.* – Екатеринбург: Изд-во УрФУ, 2014. – С. 201–205.

3. Богатов, А.А. Новый способ раскатки горячедеформированных труб на короткой оправке / А.А. Богатов, Е.А. Дресвянкина, Д.А. Павлов // *Сталь*. – 2014. – № 12. – С. 49–51.

**Богатов Александр Александрович**, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой обработки металлов давлением Института материаловедения и металлургии, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; omd@urfu.ru.

**Павлов Дмитрий Андреевич**, канд. техн. наук, доцент кафедры обработки металлов давлением Института материаловедения и металлургии, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; pavlovda1989@mail.ru.

**Павлова Елена Александровна**, лаборант-исследователь кафедры обработки металлов давлением Института материаловедения и металлургии, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург; lenka.nee@mail.ru.

*Поступила в редакцию 11 марта 2015 г.*

## STUDY OF THE EFFECT OF KINEMATIC TENSION COEFFICIENT ON TUBE FORMING IN GROOVE TAPER DURING LENGTHWISE ROLLING ON A STUB MANDREL

**A.A. Bogatov**, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation, omd@urfu.ru,

**D.A. Pavlov**, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation, pavlovda1989@mail.ru,

**E.A. Pavlova**, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation, lenka.nee@mail.ru

An open joint-stock company “Sinarsky Pipe Plant” uses pipe-rolling mill PRM-140 to produce pipes made of carbon and alloy superduty steels: drill pipes, casting pipes, pipes for power plant engineering industry from 73 to 168 mm in diameter with wall thickness from 5 mm to 23 mm. To reduce the production costs it is important to master the production of the pipes of the 140 PRM from continuously cast billet that is 150 mm and 156 mm in diameter and to cease the production of rolled billet that is 120 mm in diameter. It is necessary to increase the elongation ratio on the automatic mill “tandem” to master continuous casting. At present the elongation ratio on the lengthwise pipe-rolling mill No. 1 ranges from 1.16 to 1.5 and the elongation ratio on the lengthwise pipe-rolling mill No. 2 ranges from 1.07 to 1.15. The increased elongation ratios of automatic mill “tandem” cause the increase of strap sizes and as a result the increase of the amount of waste at a “guide mark” defect. 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 was researched. The influence of the kinematic tension on the forming tube in the groove taper during lengthwise rolling with rough tube preovalisation was studied. The possibility of increasing the elongation ratio on the automatic mill “tandem” is shown.

*Keywords: tube rolling-off; stub mandrel; mill “tandem”; finite-element simulation; coefficient of rough tube ovalisation.*

**References**

1. Bogatov A.A., Pavlov D.A., Lipnyagov S.V., Suворov V.N. Simulation of the Formation of a “Guide Mark” Defect on the Inner Tube Surface at Lengthwise Rolling. *Proizvodstvo prokata*, 2012, no. 8, pp. 37–39. (in Russ.)

2. Bogatov A.A., Dresvyankina E.A., Pavlov D.A. [Development of a New Method of Longitudinal Rolling of Pipes on a Stub Mandrel]. *Sbornik trudov XV mezhdunarodnoy konferentsii «Novye tekhnologii i dostizheniya v metallurgii, materialovedenie i tekhnologicheskoe proektirovanie»* [Proceedings of the XV International Conference “New Technologies and Advances in Metallurgy, Materials Science and Process Engineering”]. Yekaterinburg, UrFU Publ., 2014, pp. 201–205. (in Russ.)

3. Bogatov A.A., Dresvyankina E.A., Pavlov D.A. [Finite-Element Simulation of the Process of Lengthwise Pipe Rolling on a Stub Mandrel]. *Stal'*, 2014, no. 12, pp. 49–51. (in Russ.)

*Received 11 March 2015*

---

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ СТАТЬИ

Богатов, А.А. Исследование влияния коэффициента кинематического натяжения на деформацию трубы в выпусках калибра при прокатке на короткой оправке / А.А. Богатов, Д.А. Павлов, Е.А. Павлова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. – Т. 15, № 2. – С. 96–100.

### REFERENCE TO ARTICLE

Bogatov A.A., Pavlov D.A., Pavlova E.A. Study of the Effect of Kinematic Tension Coefficient on Tube Forming in Groove Taper During Lengthwise Rolling on a Stub Mandrel. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 96–100. (in Russ.)