

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НОВОГО ПРОЦЕССА ПРОДОЛЬНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ

## THE DEVELOPMENT OF THE MATH MODEL OF A NEW PROCESS OF LONGITUDINAL ROLLING PIPE

А. А. Богатов ([omd@mtf.ustu.ru](mailto:omd@mtf.ustu.ru)), Е. А. Павлова, Д. А. Павлов ([andimon.62@mail.ru](mailto:andimon.62@mail.ru))  
ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина»

### Abstract

*The variant of the pipe production technology improvement on pipe-mill aggregate 140 at the "Sinarskiy tube-rolling mill" ltd. is offered. It is focused on the development of all the continuous casting ingot range. The pipe form changing at rolling-off in a machine mill "tandem" at a short roll mandrel by a rough tube preliminarily ovalized with vertical rollers located in front of a longitudinal rolling mill №1 is studied. The change regularities of the nondimensional parameters characterized deformation of metal in angle of sides depending on the rough tube ovalized coefficient is identified. The ability to decrease the amount of waste at a "hairline" defect and increase a reduction ratio at the machine mill "tandem" by a rough tube preliminarily ovalized with vertical rollers is researched. The vertical rollers calibration method and drafting schedules that allow to cut the strap sizes formed at rolling in a longitudinal rolling mill.*

### Введение

На ТПА-140 ОАО «СинТЗ» выпускают трубы из углеродистых и легированных марок сталей диаметром от 73 до 168 мм и толщиной стенки от 5 до 20 мм. В настоящее время на ТПА-140 для производства труб диаметром от 73,0 до 127,0 мм включительно используется катаная заготовка диаметром 120,0 мм, а для труб диаметром от 127,0 до 168,0 мм включительно - как катаная заготовка 150,0 мм, так и НЛЗ диаметром 150,0 или 156,0 мм. Для снижения себестоимости необходимо освоение производства всего сортамента ТПА-140 из НЛЗ диаметром 150,0 или 156,0 мм на существующем оборудовании и исключение применения 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 находится в пределах  $1,16 \div 1,5$ , а на СПП-2 –  $1,07 \div 1,15$ ). Применение повышенных коэффициентов вытяжки на автомат-стане «тандем» приводит к увеличению размеров лампасов, и как следствие объема брака по риску [1]. Уменьшить размеры лампасов можно путем установки эджерных валков перед клетью СПП-1, придающих овальность гильзе перед раскаткой в СПП-1. При подаче круглой гильзы в шестигранный калибр, используемый на ТПА-140, захват начинается в зоне выпусков. В результате сплющивания и небольшого редуцирования заполняется весь калибр, металл интенсивно течет в выпуски калибра, при этом размеры лампасов увеличивается. При подаче овальной гильзы в шестигранный калибр захват начинается в вершине калибра, после чего происходит полное заполнение калибра. При этом металл менее интенсивно течет в выпуски калибра. Можно ожидать, что размеры лампасов, образующихся при прокатке овальной гильзы, уменьшатся по сравнению с размерами

лампасов, образующихся при прокатке круглой гильзы, и, следовательно, снизится вероятность образования риски [1]. Не исключено, что установка эджерных валков позволит осуществлять раскатку труб при повышенных коэффициентах вытяжки.

### Разработка математической модели нового процесса продольной прокатки труб

Для исследования влияния коэффициента овализации гильзы на размеры лампасов было поставлено семь задач в программном комплексе «DEFORM-3D». В задаче №1 моделировалась продольная прокатка без эджерных валков, в задачах № 2, 3, 4 – с применением ручьевых эджерных валков, а в задачах № 5, 6, 7 – с применением цилиндрических эджерных валков. На рис. 1 а, б представлена 3D-модель стана продольной прокатки труб соответственно с ручьевыми и цилиндрическими эджерными валками.

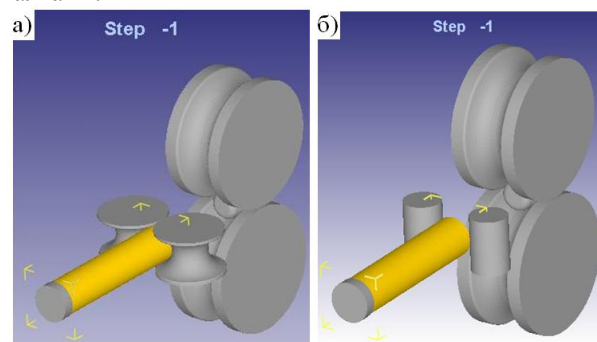


Рис. 1. 3D-модель стана продольной прокатки труб с ручьевыми (а) и цилиндрическими (б) эджерными валками

На рис. 2 представлена калибровка ручьевых эджерных валков [2].

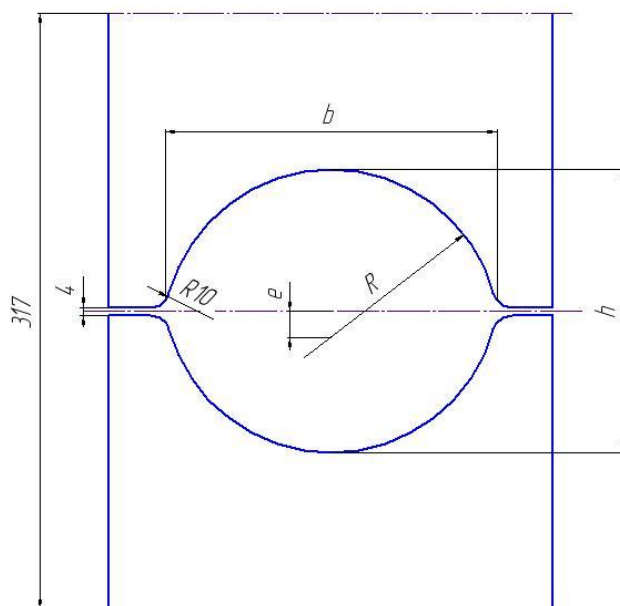


Рис. 2. Калибровка ручьевых эджерных валков

Параметры калибровки ручьевых эджерных валков для каждой задачи представлены в табл. 1, а для цилиндрических эджерных валков - в табл. 2.

Таблица 1

Параметры калибровки ручьевых эджерных валков

№ задачи	Коэффициент овализации эджерных валков $\xi$	Ширина калибра b, мм	Высота калибра h, мм	Эксцентриситет калибра e, мм	Радиус калибра R, мм
2	1,09	161,8	176,0	7,4	88,3
3	1,17	150,4	176,0	13,9	89,1
4	1,25	140,8	176,0	19,8	90,2

Таблица 2

Параметры калибровки цилиндрических эджерных валков

№ задачи	Коэффициент овализации гильзы после выхода из эджерных валков $\xi$	Расстояние между осями эджерных валков, мм	Диаметр эджерных валков, мм
5	1,09	318,1	160,0
6	1,17	310,4	
7	1,25	300,8	

Во всех задачах использовалась существующая на ТПА-140 калибровка валков СПП-1. Размеры гильзы в каждой задаче составляли 166x10 мм, а размеры трубы после раскатки в СПП-1 – 160x7 мм. Твёрдотельные модели заготовки, оправки, толкателя, эджерных и рабочих валков были созданы в графической программе КОМПАС-3D V12, сохранены в файлы с расширением «.stl» и перенесены в среду DEFORM-3D для постановки задачи. 3D-модели стана продольной прокатки труб с ручьевыми и цилиндрическими эджерными валками представлены соответственно на рис.1 а, б. Для уменьшения времени расчёта в очагах деформации были созданы окна плотности (рис. 3). В первом и во втором окне размер элементов заготовки составлял соответственно 2 и 5 мм, а вне окна – 9÷18 мм. Степень деформации элемента, при

достижении которой происходит автоматическое обновление сетки, была принята равной  $\epsilon = 0,15$ .

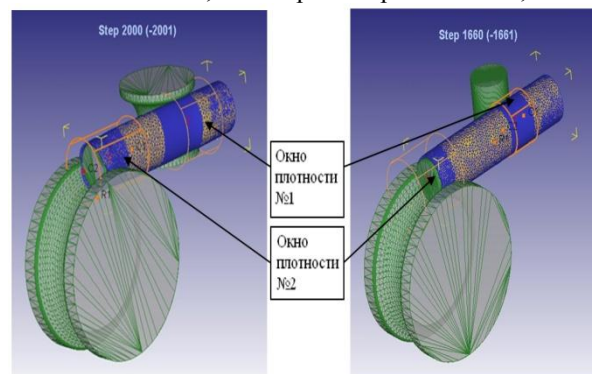


Рис. 3. Окна плотности в очагах деформации

В качестве материала заготовки использовалась сталь AISI-1045, являющаяся аналогом российской стали 45. При постановке

тепловой задачи температура заготовки принималась равной 1200°C, а инструмента - 150°C. Эджерные валки должны быть холостыми, но в программном комплексе DEFORM-3D нет возможности придать им вращение за счет сил трения. В связи с этим для эджерных валков задавалось вращение, причем их окружная скорость принималась равной окружной скорости рабочих валков. Частота вращения рабочих валков задавалась равной 125 об/мин, ручьевых и цилиндрических эджерных валков соответственно 234 и 336 об/мин. Скорость толкателя была принята равной 20 мм/с. Граничные условия для температурной задачи были сформулированы как граничные условия третьего рода:

$$q = \alpha \cdot \Delta\Theta,$$

где  $q$  - плотность теплового потока на граничной поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha$  - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $\Delta\Theta$  - разность температур, °С.

Для границ «заготовка-воздух» и «заготовка-валок» коэффициенты теплоотдачи приняты на основе рекомендаций, представленных в программе Deform-3D, соответственно равными 0,02 и 5 Вт/(м<sup>2</sup>·К). Взаимодействие заготовки с инструментом было описано законом трения по Зибелю:

$$\tau = \psi \tau_s,$$

где  $\tau$  - напряжение трения, МПа;  $\psi$  - показатель сил трения;  $\tau_s$  - сопротивление деформации материала на сдвиг, МПа.

Показатель трения  $\psi$  между заготовкой и рабочими валками, заготовкой и эджерными валками, заготовкой и оправкой были заданы соответственно равными 0,7; 0,2; 0,2 [3]. Время

каждого шага расчета было принято равным 0,0006 с.

### Результаты исследования

В процессе математического моделирования было установлено, что при продольной прокатке с цилиндрическими эджерными валками, после выхода из которых коэффициент овализации трубы должен быть равен 1,25 (задача №7), первичный захват гильзы невозможен. Следовательно, для обеспечения первичного захвата гильзы цилиндрическими эджерными валками необходимо выбирать такое расстояние между ними, чтобы обеспечить получение гильзы с коэффициентом овализации менее 1,25. Так же было оценено влияние коэффициента овализации эджерных валков на размеры лампасов при раскатке в СПП. Для этого были введены безразмерные параметры, характеризующие деформацию трубы в выпуске калибра:

$$\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}; \frac{\delta}{S_{\text{вып}}}; \frac{C}{S_{\text{вып}}},$$

где  $S_{\text{вып}}$  - толщина стенки в выпуске калибра,  $S_{\text{верш}}$  - толщина стенки в вершине калибра;  $\delta$  - величина зазора между оправкой и внутренней поверхностью трубы;  $C$  - протяженность свободной поверхности оправки.

На рис. 4 показана схема для определения параметров  $\delta$  и  $C$ .

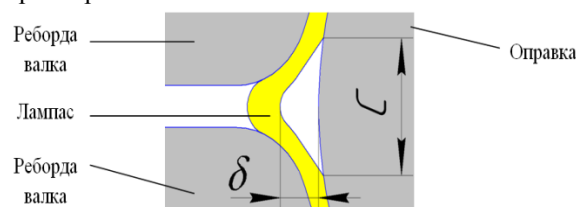


Рис. 4. Схема для определения параметров  $\delta$  и  $C$ . В ходе проведенных исследований были получены результаты, которые представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние коэффициента овализации эджерных валков на размеры лампасов

№ задачи	Коэффициент овализации гильзы перед рабочей клетью СПП-1 $\xi$	$S_{\text{верш}}$ , мм	$S_{\text{вып}}$ , мм	$\delta$ , мм	$C$ , мм	$\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$	$\frac{\delta}{S_{\text{вып}}}$	$\frac{C}{S_{\text{вып}}}$
1	1,00	7,00	9,20	1,33	30,80	1,31	0,14	3,35
2	1,09		9,10	0,74	32,01	1,30	0,08	3,52
3	1,17		8,88	0,56	32,42	1,27	0,06	3,65
4	1,25		8,79	0,44	33,21	1,26	0,05	3,78
5	1,09		9,21	0,89	32,90	1,32	0,10	3,57
6	1,17		9,09	0,62	31,84	1,30	0,07	3,50

На рис. 5, 6, 7 показаны зависимости безразмерных параметров, характеризующих деформацию трубы в выпуске калибра, от коэффициента овализации гильзы перед СПП-1.

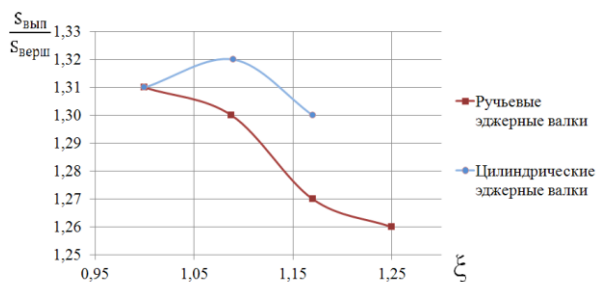


Рис. 5. Зависимость параметра  $\frac{S_{\text{вып}}}{S_{\text{верш}}}$  от коэффициента овализации гильзы перед рабочей клетью СПП-1

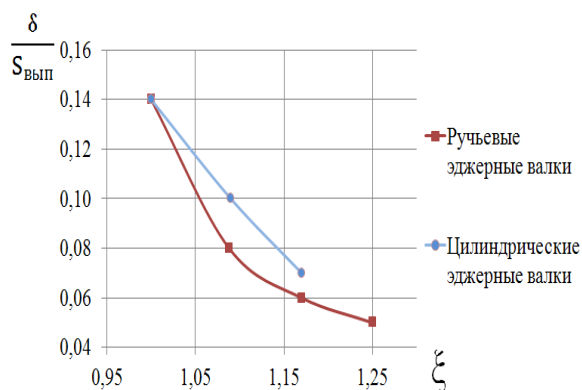


Рис. 6. Зависимость параметра  $\frac{\delta}{S_{\text{вып}}}$  от коэффициента овализации гильзы перед рабочей клетью СПП-1

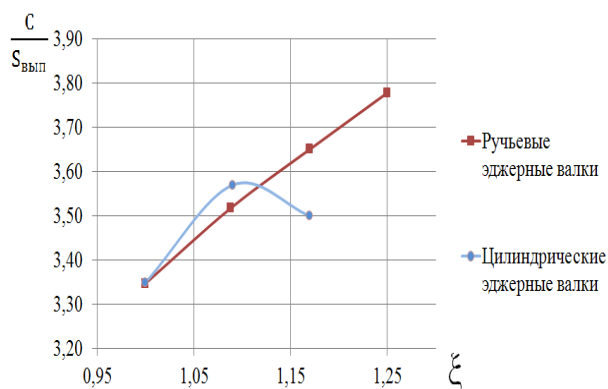


Рис. 7. Зависимость параметра  $\frac{C}{S_{\text{вып}}}$  от коэффициента овализации гильзы перед рабочей клетью СПП-1

Из графиков видно, что интенсивность утолщения стенки в выпуске (рис. 5) и зазор между оправкой и внутренней поверхностью трубы (рис. 6) значительно уменьшаются с увеличением коэффициента овализации ручьевых эджерных валков, при этом протяженность свободной поверхности оправки  $C$  (рис. 7) несколько увеличивается. С увеличением коэффициента овализации гильзы после цилиндрических эджерных валков зазор между оправкой и внутренней поверхностью трубы (рис. 6) значительно уменьшается, а интенсивность утолщения стенки в выпуске (рис. 5) и протяженность свободной поверхности оправки

(рис. 7) увеличиваются до некоторого максимального значения, а затем резко снижаются. Причем, при одинаковых коэффициентах овализации гильзы перед СПП-1, применение ручьевых эджерных валков позволяет в большей степени снизить интенсивность утолщения стенки в выпуске и зазор между оправкой и внутренней поверхностью трубы, чем применение цилиндрических эджерных валков.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, установка эджерных валков позволит снизить вероятность образования продольной риски на внутренней поверхности трубы за счет уменьшения величины лампасов, образующихся при прокатке трубы в СПП-1. В этом случае появится возможность применения повышенных коэффициентов вытяжки при прокатке труб на СПП, что позволит освоить производство всего сортамента ТПА-140 из НЛЗ.

## Список литературы

1. Богатов А. А., Павлов Д. А., Липнягов С. В., Суворов В. Н. Моделирование образования дефекта «риска» на внутренней поверхности труб при продольной прокатке//Производство проката №8. 2012. С. 37-39.
2. Данилов А.Ф., Глейберг А.З., Балакин В.Г. Горячая прокатка и прессование труб. М.: Изд-во Металлургия, 1972. 576 с.
3. Потапов И.Н., Коликов А.П., Друян В.М. Теория трубного производства. М.: Изд-во Металлургия, 1991. 424 с.