

УДК 621.774.352

МКЭ – МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОГО СПОСОБА ПРОКАТКИ ТРУБ НА КОРОТКОЙ ОПРАВКЕ С НАТЯЖЕНИЕМ*

Богатов А.А., д.т.н., профессор, зав. кафедрой

«Обработка металлов давлением» (omd@urfu.ru)

Павлов Д.А., к.т.н., доцент кафедры «Обработка металлов давлением»

Павлова Е.А., магистрант

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

(620002, Россия, Екатеринбург, ул. Мира, 19)

Аннотация. Предложен вариант усовершенствования технологии производства труб на стане продольной прокатки. Исследования проводились на базе стана продольной прокатки труб «тандем», установленного на ТПА-140 ОАО «Синарский трубный завод». В рамках снижения себестоимости поставлена задача освоения производства всего сортамента ТПА-140 из непрерывнолитой заготовки на существующем оборудовании, а также исключение из производства катаной заготовки диаметром 120,0 мм. Для освоения непрерывнолитой заготовки необходимо увеличить коэффициент вытяжки на стане продольной прокатки труб «тандем». В настоящее время коэффициент вытяжки на стане продольной прокатки труб (СПП)-1 находится в пределах $1,16 \div 1,5$, а на СПП-2 – $1,07 \div 1,15$. Применение больших обжатий вызывает появление продольного дефекта «риска» на поверхности труб. В работе представлены результаты исследования снижения размеров лампасов труб и, как следствие, уменьшения 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 снизить интенсивность утолщения стенки гильзы-трубы в выпусках калибра при прокатке в СПП-1, что уменьшает 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, коэффициент кинематического натяжения.

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-1-57-60

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].

В настоящее время на ТПА-140 при производстве труб используется как катаная (диам. 120 мм), так и непрерывнолитая заготовка (диам. 150 и 156 мм). Использование непрерывнолитой заготовки является экономически более выгодным [2]. В этой связи важной целью является разработка технологии производства всего сортамента горячекатаных труб из непрерывнолитой заготовки. Для достижения поставленной цели необхо-

димо разработать технологию раскатки с повышенным коэффициентом вытяжки.

В ходе промышленных наблюдений 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 причинах появления продольной риски на внутренней поверхности трубы в процессе прокатки труб на автомат-стане «тандем».

В работе [3] 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 [4] 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.

* Работа выполнена в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности № 11.1369.2014/К от 18.07.2014 (Номер государственной регистрации 114122470051)

Исследование поддержано программой 211 Правительства РФ, соглашение № 02.A03.21.0006

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

Исследование проводилось в программном комплексе Deform-3D. В ходе исследования, как и в работе [4], гильзе придавалась овальная форма перед прокаткой на короткой оправке с помощью эджерных 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 [5].

Матрица вычислительных экспериментов представлена ниже:

Номер эксперимента	1	2	3	4	5	6
Диаметр гильзы, мм				166		
Толщина стенки гильзы, мм				13		
Диаметр черновой трубы, мм				160		
Толщина стенки черновой трубы, мм			7			
Коэффициент вытяжки λ на СПП-1	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,20

Варьируемым параметром во всех вычислительных экспериментах являлся коэффициент кинематического натяжения ω [6, 7], который представляет собой отношение окружной скорости рабочих валков к окружной скорости вертикальных эджерных валков. Варьирование ω осуществлялось за счет изменения окружной скорости эджерных роликов, установленных за рабочей

клетью СПП-1. По рекомендациям, данным в работах [8, 9], и с учетом практических данных о прокатке труб на автоматическом стане «тандем» температура трубы была выбрана 1200 °С, температура валков и оправки 150 °С, температура воздуха 20 °С [10]. Теплоотдача от заготовки к инструменту была задана коэффициентом теплопередачи $\chi = 5 \text{ Вт/м}^3\cdot\text{К}$ [11].

Для уменьшения времени расчета в очагах деформации были созданы окна плотности с размером элементов 5 мм. Вне окон плотности размер элементов составлял 19 мм [11, 12]. На поверхности инструмента граничные условия были заданы следующим образом: нормальная составляющая скорости частиц металла $V_{n|S_s} = 0$; закон трения задан по Зибелю $\tau_{|S_s} = \psi\tau_s$. Показатель напряжения трения на рабочих и эджерных валках принят равным $\psi = 0,7$, на оправке – $\psi = 0,2$. Скорость вращения валков на СПП-1 принята равной 125 об/мин [13, 14]. 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 принята равной 20 мм/с [15].

В каждом вычислительном эксперименте после моделирования процесса раскатки гильзы на короткой оправке производилось измерение толщины стенки в выпуске S_1 и вершине S_2 калибра, а затем вычислялся безразмерный параметр $(S_1/S_2)_i$, где i – номер вычислительного эксперимента (см. таблицу).

В вычислительном эксперименте № 6 произошло искажение геометрии трубы на выходе из эджерных валков (рис. 2), поэтому параметр $(S_1/S_2)_i$ не измерялся.

Из таблицы и рис. 2 видно, что с увеличением коэффициента кинематического натяжения ω происходит уменьшение безразмерного параметра $(S_1/S_2)_i$, т. е. уменьшается поперечная разностенность черновой трубы. Также следует отметить, что при прокатке с натяжением параметр $(S_1/S_2)_i$ принимает меньшие значения, чем при прокатке без натяжения [4]. Таким образом, применение кинематического натяжения создает резерв для увеличения коэффициента вытяжки на СПП-1 более 1,99. Это позволит использовать непрерывнолитую заготовку для производства труб на ТПА-140.

Результаты измерения параметра $(S_1/S_2)_i$, характеризующего формоизменение в выпуске калибра

Measured values of the parameter characterizing the deformation of the metal in the groove taper

Номер вычислительного эксперимента	1	2	3	4	5	6
Коэффициент натяжения ω	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,20
$(S_1/S_2)_i$	1,49	1,47	1,46	1,44	1,42	–

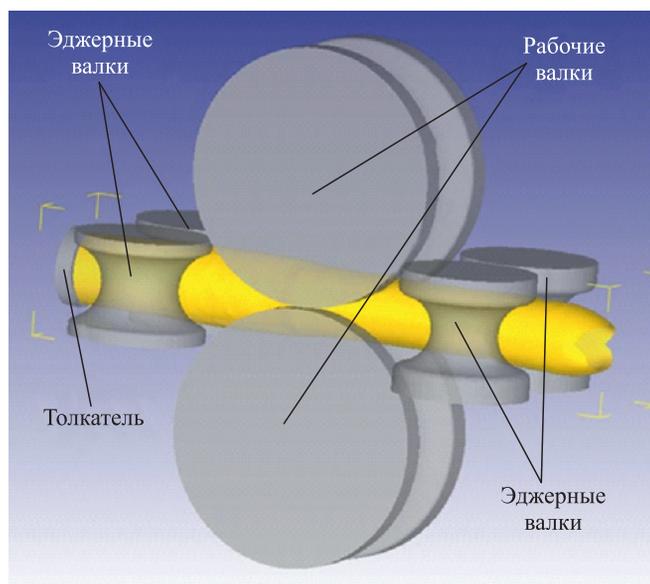


Рис. 1. 3D-модель СПП-1 с эджерными валками

Fig. 1 3D model of the lengthwise rolling mill with vertical rollers

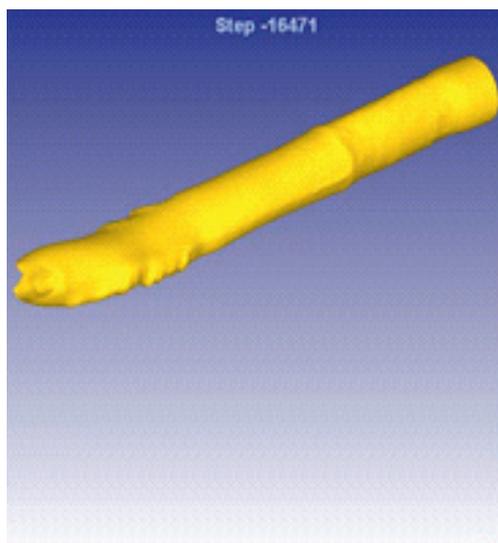
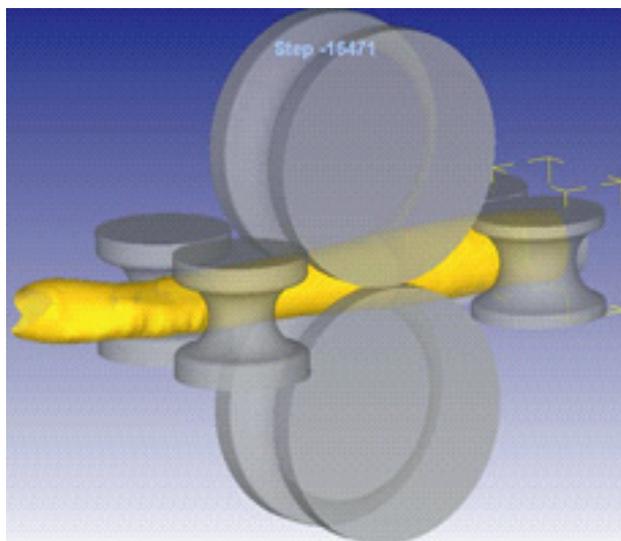


Рис. 2. Искажение геометрии трубы на выходе из эджерных валков

Fig. 2. Distortion of the tube after exit from vertical rollers

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

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Харитонов В.В., Богатов А.А., Вахрушев В.Ю. Оборудование для прокатки, прессования и волочения труб. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2008. – 233 с.
2. Овчинников Д.В., Богатов А.А., Ерпалов М.В. Разработка и внедрение технологии производства высококачественных насосно-компрессорных труб из непрерывнолитой заготовки // Черные металлы. 2012. № 3. С. 18 – 21.
3. 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. 2012. № 8. С. 37 – 39.
4. Богатов А. А., Дресвянкина Е.А., Павлов Д. А. Новый способ раскатки горячедеформированных труб на короткой оправке // Сталь. 2014. № 12. С. 49 – 51.
5. Данченко В.Н., Сергеев В.В., Никулин Э.В. Производство профильных труб. – М.: ИнтерметИнжиниринг, 2003. – 224 с.
6. Данченко В.Н., Коликов А.П., Романцев Б.А. Технология трубного производства. – М.: ИнтерметИнжиниринг, 2002. – 640 с.
7. Трубное производство / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин, С.В. Самусев: Учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд. дом МИСиС, 2011. – 970 с.
8. Технология и оборудование трубного производства / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец, А.П. Коликов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с.
9. Друян В.М., Гуляев Ю.Г., Чукмасов С.А. Теория и технология трубного производства – Днепропетровск: Днепр-ВАЛ, 2001. – 544 с.
10. Данилов А.Ф., Глейберг А.З., Балакин В.Г. Горячая прокатка и прессование труб. – М.: Metallurgy, 1972. – 576 с.
11. Практическое руководство к программному комплексу Deform-3D / А.П. Карамышев, И.И. Некрасов, А.И. Пугин и др. – Екатеринбург: УрФУ, 2010. – 266 с.
12. Фокин В.Г. Метод конечных элементов в механике деформируемого твердого тела: Учеб. пособие. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 131 с.
13. Потапов И.Н., Коликов А.П., Друян В.М. Теория трубного производства. – М.: Metallurgy, 1991. – 424 с.
14. Шевакин Ю.Ф., Коликов А.П., Райков Ю.Н. Производство труб. – М.: Интермет Инжиниринг, 2005. – 568 с.
15. Katsumura T., Ishikawa K., Matsumoto A. etc. Development of finite element analysis model for plug mill rolling // Key Engineering Materials. 2014. Vols. 622 – 623. P. 899 – 904.

Поступила 25 февраля 2015 г.

FEM SIMULATION OF A NEW METHOD OF LENGTHWISE PIPE ROLLING ON A STUB MANDREL WITH STRETCH

A.A. Bogatov, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Chair "Metal Forming" (omd@urfu.ru)

D.A. Pavlov, Cand. Sci. (Eng.), Assist. Professor of the Chair "Metal Forming"

E.A. Pavlova, MA Student

Ural Federal University named after the first President of Russia
B.N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

Abstract. The improvement of the pipe production technology at the lengthwise rolling mill was suggested. The investigations were carried out on the basis of the lengthwise rolling mill "tandem" installed at Open Joint-Stock Company «Sinarsky Pipe Works». There is an aim of mastering the whole gauge production of continuous casting on the existing equipment to reduce the production costs with the exclusion of diameter 120 mm rolled workpiece. The elongation ratio increase on the "tandem" lengthwise rolling mill is necessary to develop the continuous casting. At present time the elongation ratio on the length-

wise rolling mill no. 1 is between 1.16 and 1.5 and elongation ratio on lengthwise rolling mill no. 2 is between 1.07 and 1.15. The use of the increased elongation ratios on automatic mill “tandem” leads to increase of strap sizes and as result to 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 investigated. The influence of the kinematic tension on the forming tube in the groove taper at a lengthwise rolling with rough tube preovalisation was studied. The authors described the possibility of increasing the elongation ratio on the automatic mill “tandem”.

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

DOI: 10.17073/0368-0797-2016-1-57-60

REFERENCES

1. Kharitonov V.V., Bogatov A.A., Vakhrushev V.Yu. *Oborudovanie dlya prokatki, pressovaniya i volocheniya trub* [Equipment for rolling, pressing and drawing of pipes]. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2008, 233 p. (In Russ.).
2. Ovchinnikov D.V., Bogatov A.A., Erpalov M.V. Development and implementation of technology of production of high-quality pipes of continuously-cast billets. *Chernye metally*. 2012, no. 3, pp. 18–21. (In Russ.).
3. Bogatov A. A., Pavlov D. A., Lipnyagov S. V., Suvorov V. N. Simulation of “risk” defect on the inner surface of the pipes in the longitudinal rolling. *Proizvodstvo prokata*. 2012, no. 8, pp. 37–39. (In Russ.).
4. Bogatov A. A., Dresvyankina E.A., Pavlov D. A. New way of rolling of hot-deformed pipes on a short mandrel. *Stal'*. 2014, no. 12, pp. 49–51. (In Russ.).
5. Danchenko V.N., Sergeev V.V., Nikulin E.V. *Proizvodstvo profil'nykh trub* [Production of profile pipes]. Moscow: Internet Inzhniring, 2003, 224 p. (In Russ.).
6. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romantsev B.A. *Tekhnologiya trubnogo proizvodstva* [Technology of pipe production]. Moscow: Internetinzhniring, 2002, 640 p. (In Russ.).
7. Romantsev B.A., Goncharuk A.V., Vavilkin N.M., Samusev S.V. *Trubnoe proizvodstvo: Uchebnik* [Pipe production: Textbook]. Moscow: Izd. Dom MISiS, 2011, 970 p. (In Russ.).
8. Osadchii V.Ya., Vavilin A.S., Zimovets V.G., Kolikov A.P. *Tekhnologiya i oborudovanie trubnogo proizvodstva* [Technology and equipment for pipe production]. Moscow: Internet Inzhniring, 2001, 608 p. (In Russ.).
9. Druyan V.M., Gulyaev Yu.G., Chukmasov S.A. *Teoriya i tekhnologiya trubnogo proizvodstva* [Theory and technology of pipe production]. Dnepropetrovsk: Dnepr-VAL, 2001, 544 p. (In Russ.).
10. Danilov A.F., Gleiberg A.Z., Balakin V.G. *Goryachaya prokatka i pressovanie trub* [Hot rolling and pressing of pipes]. Moscow: Metallurgiya, 1972, 576 p. (In Russ.).
11. Karamyshev A.P., Nekrasov I.I., Pugin A.I. etc. *Prakticheskoe rukovodstvo k programnomu kompleksu Deform-3D* [Practical guide to program complex Deform-3D]. UrFU, 2010, 266 p. (In Russ.).
12. Fokin V.G. *Metod konechnykh elementov v mekhanike deformiruemogo tverdogo tela: Ucheb. posobie* [Finite element method in deformable solid mechanics: Manual]. Samara: Samar. gos. tekhn. un-t, 2010, 131 p. (In Russ.).
13. Potapov I.N., Kolikov A.P., Druyan V.M. *Teoriya trubnogo proizvodstva* [Theory of pipe production]. Moscow: Metallurgiya, 1991, 424 p. (In Russ.).
14. Shevakin Yu.F., Kolikov A.P., Raikov Yu.N. *Proizvodstvo trub* [Pipe production]. Moscow: Internet Inzhniring, 2005, 568 p. (In Russ.).
15. Katsumura T., Ishikawa K., Matsumoto A., Sasaki S., Kato Y., Yanagimoto J. Development of finite element analysis model for plug mill rolling. *Key Engineering Materials*. 2014, vols. 622–623, pp. 899–904.

Acknowledgements. The study was made within the project part of state task in the field of scientific activity no. 11.1369.2014/K dated 18.07.2014 (state registration number: 114122470051). Supported by Act 211 of the Government of the Russian Federation, agreement no. 02.A03.21.0006.

Received February 25, 2015