

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ИЗНОСА КОНТРОЛИРУЕМО-ПЕРЕМЕЩАЕМОЙ ОПРАВКИ НЕПРЕРЫВНОГО ТРЕХВАЛКОВОГО РАСКАТНОГО СТАНА ДЛЯ ПРОКАТКИ ЧЕРНОВЫХ ТРУБ

Ю.Л. Бобарикин, Я.И. Радькин

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

Определен коэффициент износа для модели Арчарда, применимый для раскатки черновых труб. Исследовано влияние скорости контролируемо-перемещаемой оправки и системы калибровки на величину износа раскатной оправки. Определены оптимальные эксплуатационные параметры прокатки черновых труб на трёхвалковом непрерывном раскатном стане.

Ключевые слова: бесшовные трубы, непрерывная раскатка, моделирование износа, контролируемо-перемещаемая оправка

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

Yu. Bobarikin, Ya. Radkin

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

The wear coefficient for the Archard's wear model that can be applied for the rough tubes rolling process is determined. The influence of the controlled- movable mandrel's speed along with the calibration system on the rate of wear of an elongating mandrel is studied. The optimal operational parameters of the rough tubes rolling on a three roll continuous reeling mill were determined.

Keywords: seamless pipes, continuous elongating process, wear simulation, controlled-movable mandrel

E-mail: yradkin@gmail.com

Введение

Снижение износа и увеличение ресурса работы прокатного инструмента при производстве горячедеформированных бесшовных труб является одной из главных задач трубной промышленности.

В настоящее время наибольшее развитие получило производство горячекатанных бесшовных труб на трубопрокатных агрегатах с непрерывным станом ввиду их высокой производительности. Получение черновых труб на агрегатах такого типа осуществляется раскаткой гильзы на непрерывных двух либо трёхвалковых станах между прокатными валками и контролируемо-перемещаемой оправкой, которая движется вместе с заготовкой [1]. Раскатная оправка — это технологический инструмент, который служит для формирования внутренней полости и получения требуемой толщины стенки черновой трубы.

Износ раскатных оправок определяется множеством факторов. Данные факторы делятся на два типа: технологические (способ производства заготовки для оправки, методы термообработки) и эксплуатационные (температурно-скоростные параметры прокатки, соотность рабочих элементов раскатного стана, корректность работы систем смазки и дезоксидации и выбор оптимальной геометрии прокатного инструмента). Несоблюдение вышеперечисленных факторов в процессе эксплуатации оправок приводит к быстрому выходу их из строя, что в конечном итоге сказывается на качестве черновых труб.

Основными причинами, по которым оправка считается не пригодной для эксплуатации, являются нарушение геометрии оправки или наличие на её поверхности следующих дефектов: продир, сетка разгара, риски, раковины, сколы, царапины. Глубина залегания вышеперечисленных дефектов на поверхности оправки не должна превышать 1 мм, а износ по диаметру — не более 1,5 мм.

На рис. 1 представлена производственная статистика по выявлению основных причин недопуска к использованию раскатных оправок:

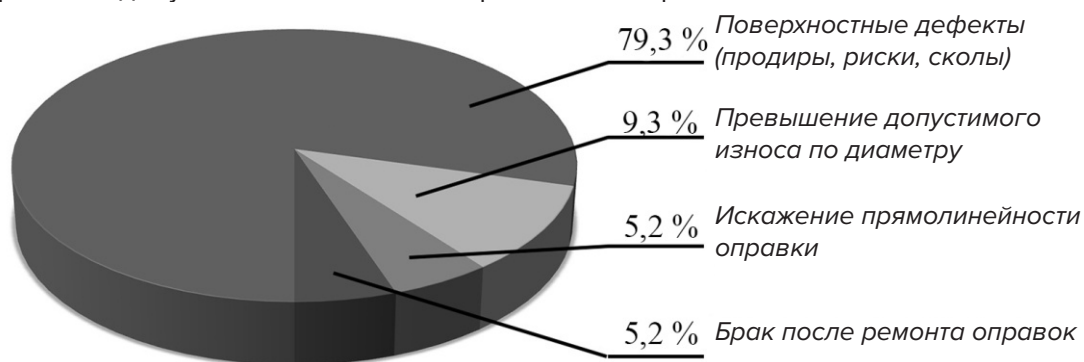


Рис. 1. Основные причины выхода из эксплуатации раскатных оправок

Анализ полученной диаграммы показывает, что одной из основных причин при которой оправки не допускаются к использованию, является наличие на их поверхности дефектов, таких как продир, сколы и риски. При выявлении вышеперечисленных дефектов оправка отправляется на ремонт путём наплавки либо переточкой на меньший диаметр. Таким образом, определение оптимальных эксплуатационных режимов работы оправок с целью снижения их износа является весьма актуальной задачей.

Дефекты поверхности раскатных оправок, при которых инструмент не допускается к эксплуатации, представлены на рис. 2.

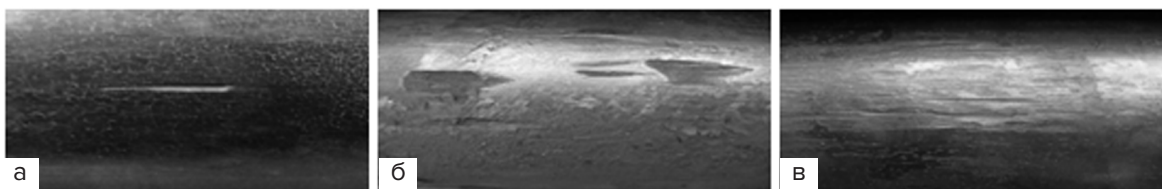


Рис. 2. Дефекты раскатных оправок:
а — проDIR и сетка разгара; б — сколы; в — риски и царапины

Одной из альтернатив экспериментальному исследованию износа является метод численного моделирования. Разработанные теоретические зависимости процессов износа, которые лежат в основе математических моделей, позволяют производить первичный анализ технологических процессов обработки материалов и дают возможность определения влияния различных факторов на механизм образования износа. В большинстве случаев для теоретического исследования износа используется метод конечных элементов. Данный метод позволяет проводить исследования конструкционных, эксплуатационных и технических факторов процессов обработки металлов давлением, в том числе и раскатки труб. В современных источниках отсутствуют данные о параметрах износа прокатного инструмента в процессе раскатки горячекатанных бесшовных труб.

Цель работы: Определение коэффициента износа для численной модели процесса раскатки труб и определение оптимальных эксплуатационных параметров трёхвалкового непрерывного раскатного стана, при которых износ раскатной оправки будет снижен.

Методы и исходные данные для исследования

Для исследования механизма износа раскатных оправок была использована разработанная адекватная численная модель процесса раскатки черновых труб [2].

В качестве исходных данных для моделирования использовались настроечные параметры непрерывного трёхвалкового раскатного стана (табл. 1) и таблицы прокатки для соответствующего трубного профиля (табл. 2)

В качестве материала заготовки была принята сталь марки 20. Раскатка гильзы в черновую трубу производится при температуре 1080 °С. Для материала была принята упругопластическая модель Мизеса [2].

Табл. 1

Скоростные режимы раскатки трубного профиля

| | | |
|---|-------------|-------|
| Прокатные клетки | VRS, об/мин | 497 |
| | 1, об/мин | 569,3 |
| | 2, об/мин | 673 |
| | 3, об/мин | 656,5 |
| | 4, об/мин | 639 |
| Контролируемо-перемещаемая оправка, м/с | | 2,3 |

Табл. 2

Таблица прокатки трубного профиля из заготовки круг 200 мм

| Прошивной стан | | Раскатной стан | | Стан извлекатель | | Редукционный стан | | Трубный профиль | |
|----------------|-------|----------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|-----------------|-------|
| D, мм | S, мм | D, мм | S, мм | D, мм | S, мм | D, мм | S, мм | D, мм | S, мм |
| 215 | 13,8 | 184,3 | 4,38 | 175 | 4,48 | 170 | 4,55 | 168,3 | 4,5 |

Раскатная оправка изготавливается из стали 4Х5МФ1С и имеет твёрдость 315–360 НВ, затем поверхность подвергается хромированию и имеет твёрдость 60–62 HRC. Перед раскаткой на оправку наносится графитовая смазка. В процессе раскатки на поверхности трубной заготовки образуются оксидные плёнки, которые совместно действуют как разделительное покрытие на границе контакта. Исходя из этого, принимаемый вид трения — полусухой.

Для расчёта износа раскатной оправки была принята модель абразивного износа Арчарда [3]. Основными параметрами для определения степени износа являются коэффициент трения и коэффициент износа. Выбор коэффициентов трения и износа производился путём сравнения величины износа поверхностей раскатных оправок с результатами, полученными в ходе численных экспериментов различных вариантов процесса раскатки гильз. Величину коэффициента трения на поверхности контакта трубной заготовки и оправки принимаем $f = 0,18$, а коэффициент износа — $1,02 \times 10^{-12}$.

Для снижения износа раскатной оправки необходимо добиться равномерного распределения нагрузок в очагах деформации каждой клетки раскатного стана. На величину износа контролируемо-перемещаемых оправок существенное влияние оказывает правильность выбора калибровки валков раскатного стана, так как при неравномерном заполнении калибров местные нагрузки на оправку увеличиваются, что в последствии приводит к увеличенному износу как оправок, так и прокатных валков.

Для улучшения условий прокатки и создания определённой свободы течения металла применяют различные типы калибров. Для раскатки черновых труб чаще всего применяют круглые калибры с прямыми или со скруглёнными выпусками либо овальные калибры [4].

При производстве трубного профиля 168,3×4,5 мм применяется система с овальным калибром на клетки предварительного обжатия, после которых располагается пара овальных деформирующих калибров и пара круглых калибров для формирования профиля черновой трубы, то есть система калибровки — овал, овал, овал, круг, круг. В ходе работы была разработана и рассчитана новая калибровка системы (круг, овал, овал, круг, круг) для получения заданного трубного профиля.

Основные геометрические параметры, которыми характеризуется форма калибра раскатного стана, представлены на рис. 3. Основные размеры базовой и расчётной калибровки представлены в табл. 3.

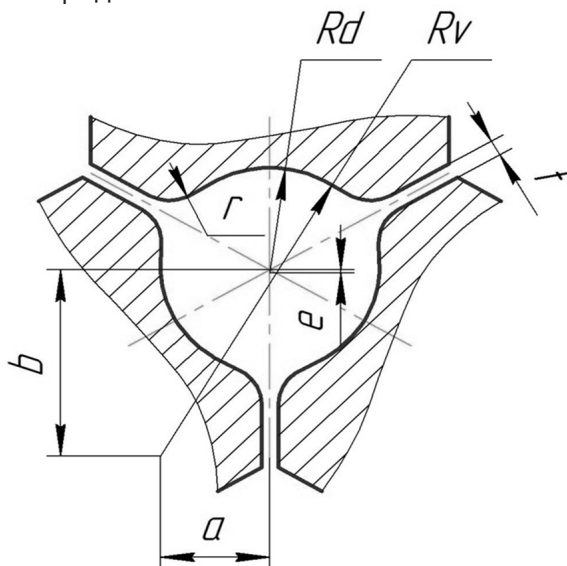


Рис. 3. Геометрические параметры калибров раскатного стана

Сравнение геометрических параметров расчётной и действующей (базовой) калибровки трёхвалкового раскатного стана для получения трубного профиля 168,3x4,5 мм

| Параметр | Номер клетки | | | | | | | |
|-----------|--------------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| | VRS | | 1 | | 2 | | 3,4 | |
| | базов | расчёт | базов | расчёт | базов | расчёт | базов | расчёт |
| Rd , мм | 110,13 | 99,1 | 96,5 | 98,983 | 94,1 | 95,627 | 92 | 92,15 |
| Rv , мм | — | — | 289,5 | 296,29 | 310,55 | 315,56 | 230 | 230,37 |
| e , мм | 6,93 | 0 | 2,95 | 2,883 | 2 | 1,875 | 0 | 0 |
| r , мм | 8 | 17,817 | 33,3 | 35,634 | 23,7 | 26,823 | 13,9 | 12,671 |
| t , мм | 3 | 3 | 16 | 14,671 | 16 | 14,671 | 9 | 12,671 |
| a , мм | 0 | 0 | 93,934 | 86,71 | 106,227 | 101,89 | 69 | 69 |
| b , мм | 0 | 0 | 171,54 | 180,86 | 190,591 | 194,92 | 119,51 | 119,51 |

Также существенное влияние на равномерность нагрузки калибров имеют скоростные режимы прокатки, а при раскатке труб на контролируемо-перемещаемой оправке — скорость движения оправки, так как от неё зависит направление сил трения между оправкой и трубной заготовкой.

Для определения оптимальных эксплуатационных параметров процесса раскатки были проведены виртуальные эксперименты при помощи адекватной численной модели процесса раскатки, с различными скоростными режимами контролируемо-перемещаемой оправки и новой системой калибров.

Результаты исследования

На основании исследования напряжённо-деформированного состояния очагов деформации в клетях раскатного стана была определена оптимальная скорость контролируемо-перемещаемой оправки, которая должна быть равной скорости заготовки на выходе из первой деформирующей клетки [5].

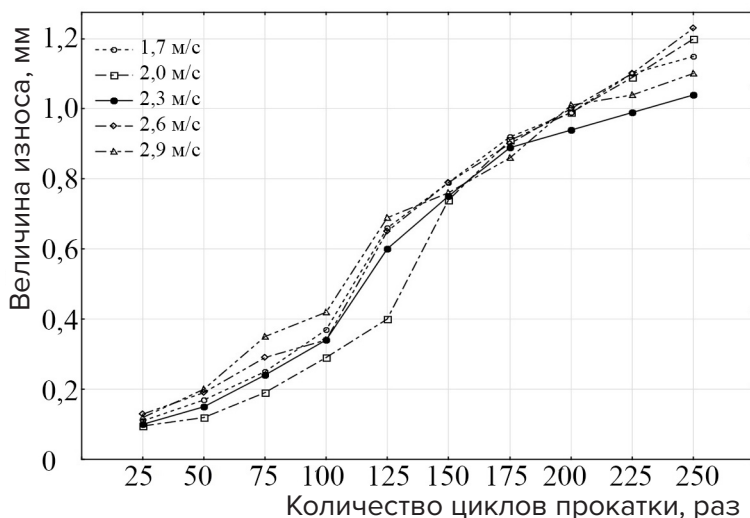


Рис. 4. Результаты моделирования износа при различных скоростных режимах контролируемо-перемещаемой оправки

При соблюдении этого условия наблюдается равномерное распределение напряжений в продольном и поперечном сечениях очагов деформации, что способствует движению оправки с минимальными отклонениями от прямой траектории. Это позволяет значительно увеличить ресурс работы оправок. Результаты величины износа в зависимости от проходов раскатки представлены на рис. 4.

Было проведено исследование нагруженного состояния прокатных валков и оправки за один цикл раскатки. Результаты для калибровок систем (овал, овал, овал, круг, круг) и (круг, овал, овал, круг, круг) в виде диаграмм представлены на рис. 5 и рис. 6.

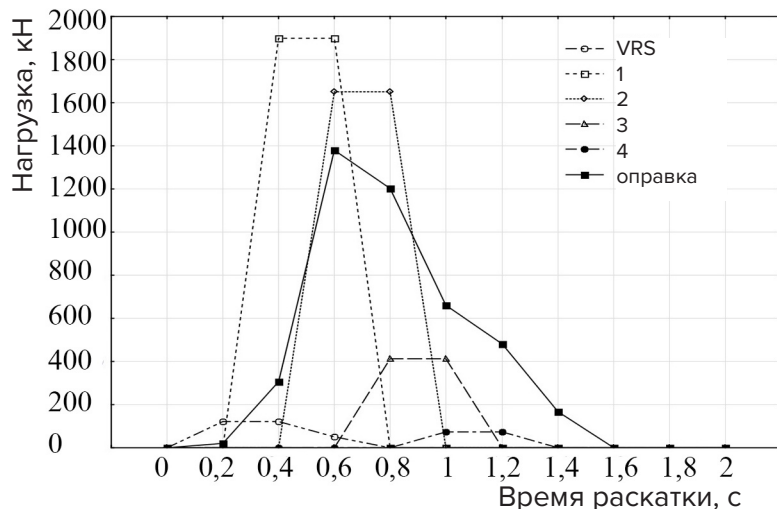


Рис. 5. Диаграмма нагрузок клеток и оправки системы калибров (овал, овал, овал, круг, круг), для производства трубного профиля 168,3x4,5 мм

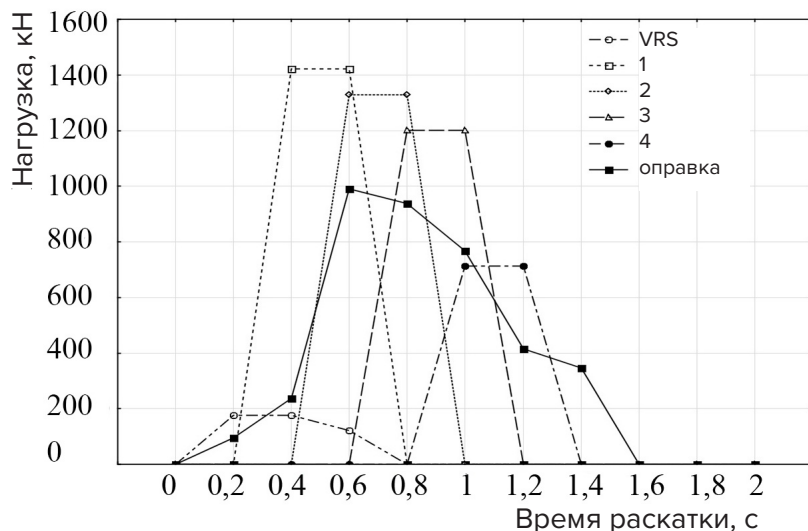


Рис. 6. Диаграмма нагрузок клеток и оправки системы калибров (круг, овал, овал, круг, круг), для производства трубного профиля 168,3x4,5 мм

Исходя из полученных результатов, раскатная оправка максимально нагружена в зоне действия 1 и 2 клеток, в которых происходит основная деформация гильзы при формировании черновой трубы. Использование калибровки системы (круг, овал, овал, круг, круг) позволяет снизить величину нагрузок как на оправку, так и на прокатные клетки. Это в свою очередь должно привести к увеличению ресурса работы прокатного инструмента и более эффективной работе непрерывного раскатного стана.

При использовании калибровки системы (круг, овал, овал, круг, круг) происходит более равномерное обжатие оправки заготовкой, что позволяет существенно снизить местные контактные давления на поверхности оправки, которые приводят к дефектам, упомянутым ранее. Результат моделирования износа различных калибровок представлен на рис. 7.

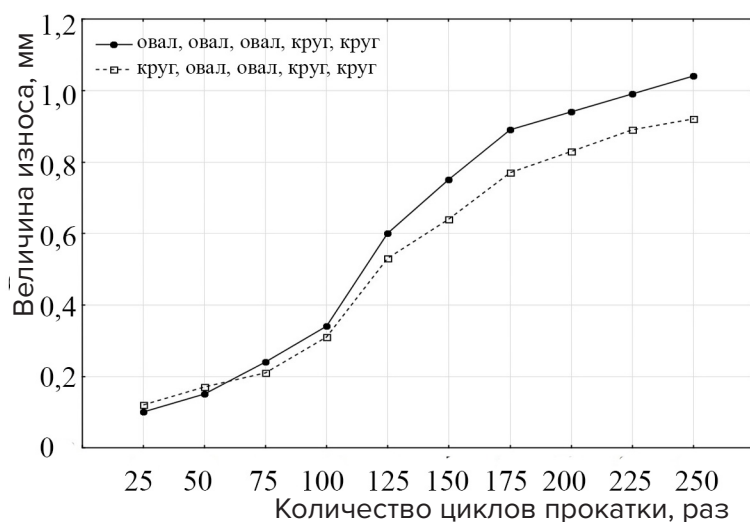


Рис. 7. Результаты моделирования износа калибровок систем (овал, овал, овал, круг, круг) и (круг, овал, овал, круг, круг)

В ходе моделирования износа системы калибров (овал, овал, овал, круг, круг) при помощи цветочкодированных диаграмм были выявлены локальные участки раскатной оправки с повышенными значениями износа в виде горизонтальных линий в продольном направлении, что соответствует дефектам раскатных оправок на производстве, таким как продир, риски, царапины.

При использовании калибровки системы (круг, овал, овал, круг, круг) величины износа на поверхности оправки распределяются равномерно. Величина износа данной калибровки за 250 циклов раскатки снижается по сравнению с калибровкой системы (овал, овал, овал, круг, круг).

Заключение

1. Для процессов непрерывной раскатки черновых труб определена величина коэффициента износа для модели Арчарда, равная $1,02 \times 10^{-12}$.
2. Определена величина износа раскатной оправки при различных скоростных режимах контролируемо-перемещаемой оправки. Определено, что оптимальная скорость оправки должна быть равна скорости металла на выходе из первой деформирующей клетки.
3. Разработана система калибровки трёхвалкового непрерывного раскатного стана, способствующая равномерному обжатию металла на оправке, что приводит к снижению нагрузок на инструмент и повышению его стойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология трубного производства / В.Н. Данченко [и др.]; М. : Интермет инжиниринг, 2002. — 638 с.
2. Бобарикин, Ю. Л. Адекватная численная модель процесса раскатки гильз на трёхвалковом непрерывном стане и выбор метода оценки износа инструмента / 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: С. А. Астапчик (гл.ред.) [и др.]. — Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2016. — 95 с.
3. Contact and rubbing of flat surfaces /Archard J. F. // J. Appl. Phys., 1953, vol.24, no. 8, pp. 981–988.

4. Орлов, Г. А. Основы теории прокатки и волочения труб / Г. А. Орлов. — Екатеринбург, Изд-во Урал, Ун-та, 2016. — 204 с.
5. 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. — С. 86–92.

REFERENCES

1. Danchenko V.N., Kolikov A.P., Romancev B.A., Samusev C.B. Tekhnologiya trubnogo proizvodstva [Technology of Tube Production]. Moscow : Internet inzhiniring, 2002, 638 p. (in Russian)
2. Bobarikin Yu.L., Rad'kin Ya.I. Adekvatnaya chislennaya model' processa raskatki gil'z na tryohvakovom nepreryvnom stane i vybor metoda ocenki iznosa instrumenta [The Sufficient Numerical Model of Reeling Out of Shells Using a Continuous Three-high Rolling Mill and Selection of a Method of Assessment of Tool Wear]. Sovremennyye metody i tekhnologii sozdaniya i obrabotki materialov [Advanced Methods and Technologies of Materials Development and Processing]. collection of scientific papers, vol. 3, Obrabotka metallov davleniem [processes of metal forming]. Minsk: FTI NAN Belarusi, 2016, p. 95. (in Russian)
3. Archard J. F. Sontact and rubbing of flat surfaces, J. Appl. Phys., 1953, vol.24, no. 8, pp. 981–988.
4. Orlov G.A. Osnovy teorii prokatki i volocheniya trub [Foundations of the Theory of Rolling and Tube Drawing]. Ekaterinburg, Izd-vo Ural, Un-ta, 2016, 204 p. (in Russian)
5. Bobarikin Yu.L., Rad'kin Ya.I. Opredelenie optimal'noj skorosti opravki raskatnogo nepreryvnogo prokatnogo stana s pomoshch'yu chislennogo modelirovaniya. Lit'e i metallurgiya [Determination of an Optimal Velocity of the Fixture of a Reeling Continuous Rolling Mill Using Numerical Simulation. Foundry and Metallurgy]. 2017, pp. 86–92. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 02.05.17