

УДК 621.774

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ТРУБ НА ИЗМЕНЕНИЕ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ВДОЛЬ КОНУСА ДЕФОРМАЦИИ

канд. техн. наук, доц. С.В. ПИЛИПЕНКО; В.А. ТЕРЕЩЕНКО  
(Национальная металлургическая академия Украины, Днепр);  
канд. техн. наук, доц. А.В. ДУДАН  
(Полоцкий государственный университет)

Рассматривается влияние упругой деформации клетки и термических искажений ручья калибра на изменение толщины стенки по длине рабочего конуса стана холодной прокатки труб. Приведены результаты проведенных экспериментов. Сделан вывод, что на точность стенки основное влияние оказывает пружина клетки и термические искажения ручья калибра, связанные с различными технологическими факторами прокатки труб в станах холодной пильгерной прокатки. Результаты проведенных экспериментов необходимы для дальнейших исследований, которые будут проводиться в данном направлении и могут быть использованы при проектировании технологических маршрутов прокатки труб на станах холодной прокатки труб для данной марки стали и её аналогов и для подобного прокатного стана.

**Ключевые слова:** холодная прокатка труб, стан, технологический маршрут, калибровка инструмента, рабочий конус, деформационные характеристики.

**Введение.** Холодная прокатка труб является циклическим процессом. Прокатные валки в составе рабочей клетки осуществляют возвратно-поступательные движения и, перекатываясь по трубе-заготовке, обжимают ее на конической оправке в уменьшающемся просвете калибра. Маршрут прокатки и калибровка инструмента для конкретного стана холодной прокатки труб (ХПТ) непосредственно влияют как на производительность, так и на точность прокатываемых труб [1–4]. В настоящее время шлифование ручья калибров под окончательный размер выполняется на современных станках с ЧПУ, что позволяет получать инструмент с высокой точностью рабочей поверхности (то же можно сказать и об оправках стана ХПТ). Однако в ходе прокатки как неточность настройки стана, так и упругая деформация деталей клетки приводят к искажению заложенных в калибровку инструмента распределений деформационных характеристик вдоль конуса деформации. Данные искажения влияют на распределение силовых характеристик, усложняют настройку стана, приводят к изменению точности и механических характеристик готовых труб [2–6].

**Постановка проблемы.** Существует методика расчета калибровки ручья калибров стана ХПТ, который позволяет учитывать упругую деформацию клетки по длине рабочего конуса при прямом и обратном ходе клетки [6–9]. Однако для её применения необходимо знать распределение деформации вдоль рабочего конуса для каждого случая прокатки (марка стали, стан, калибровка, величина подачи и пр.). Эти данные можно получить, в том числе, произведя сравнительные исследования распределения толщины стенки и диаметра трубы вдоль рабочего конуса согласно расчетным и реальным данным. Поэтому дальнейшие исследования в этом направлении являются актуальными.

**Основная часть.** Процесс обжатия на станах ХПТ осуществляется при наличии упругого деформирования клетки при прямом обратном рабочих ходах [6–7]. Упругая деформация клетки не является постоянной величиной (рисунок 1), она изменяется по длине рабочего хода в зависимости от калибровки, состояния оборудования стана, материала трубы и других факторов.

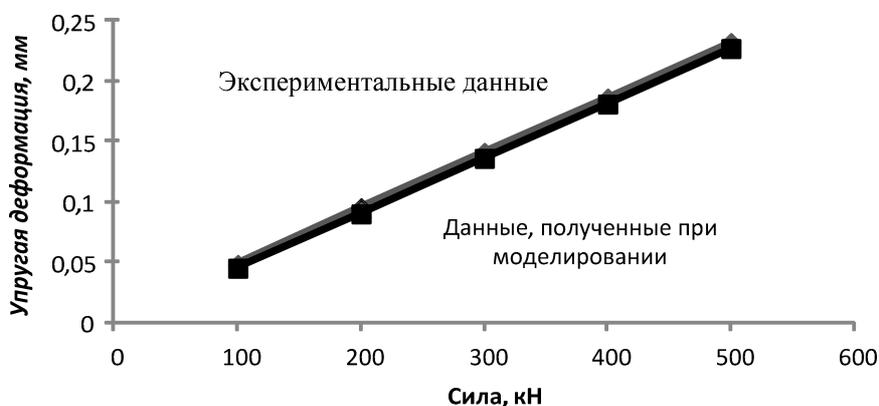


Рисунок 1. – Зависимость упругой деформации валкового узла стана ХПТ от силы прокатки согласно экспериментальным данным и расчету [8]

Из-за изменения величины упругих деформаций клетки меняется величина зазора между валками (рисунок 2), вследствие чего изменяется заранее заложенное в форму деформирующего инструмента распределение деформационных характеристик вдоль рабочего конуса [6–9].

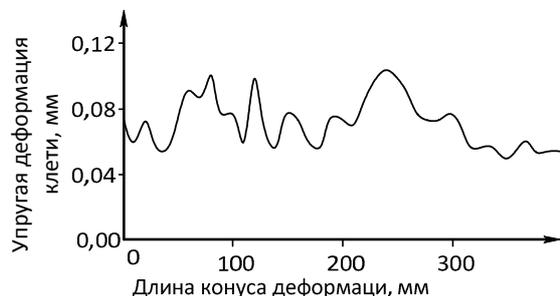


Рисунок 2. – Результаты замеров величины «пружины клетки» стана ХПТ-32 при прокатке трубы из стали 20 (маршрут 57×3,5...30×2) [6–7]

Большинство изменений условий прокатки приводит к изменению упругой деформации клетки. Так, изменение конусности оправки вызывает значительное изменение характера распределения деформационных характеристик вдоль рабочего конуса (рисунок 3) [10], что, в свою очередь, порождает изменение силовых характеристик (о чем можно судить по изменению твердости поверхности рабочего конуса (см. рисунок 3). Все эти изменения приводят к изменению распределения упругой деформации клетки вдоль рабочего конуса. При этом как маршрут, так и материал трубы остаются прежними.

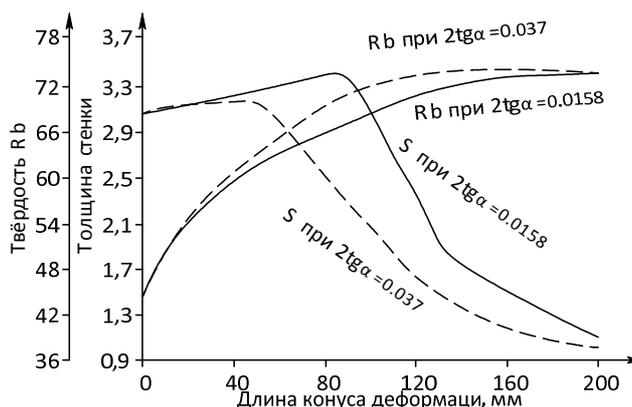


Рисунок 3. – Изменение толщины стенки и твердости вдоль рабочего конуса при прокатке трубы из сплава АМг2 по маршруту 38×3...23×1 с применением калибровок с различной конусностью оправки (последний участок зоны обжатия не показан) [10]

Процесс ХПТ характеризуется большой динамичностью, даже в станах старой конструкции имелась возможность прокатки труб со скоростью 100...120 двойных ходов клетки в минуту. В современных станах количество двойных ходов достигает 280 и более в минуту, и это может вызывать значительные тепловыделения от пластической деформации (рисунок 4). Причем данный процесс происходит в мгновенном очаге деформации за доли секунды, и тепловыделения могут значительно повлиять на силовые и деформационные параметры процесса, исказить очаг деформации за счет теплового расширения материала рабочего инструмента [11; 12].

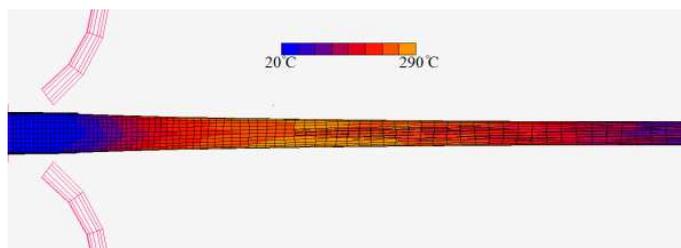


Рисунок 4. – Результаты конечно-элементного моделирования процесса ХПТ, температура рабочего конуса после 40 двойных ходов клетки [13]

На рисунке 4 показано распределение температуры на поверхности трубы после сорока двойных ходов [13]. Из модели видно, что самая высокая температура отмечается в середине рабочего конуса, где наблюдается наиболее интенсивная деформация.

В итоге на распределение деформационных характеристик вдоль рабочего конуса влияет не только пружина клетки, но и термические искажения ручья калибра. Оценить сумму данных искажений для каждого конкретного случая можно только с помощью сравнительного анализа расчетного распределения геометрических параметров (например, толщины стенки) рабочего конуса с реальным.

На современном этапе развития рыночных отношений предприятия, производящие трубокатную продукцию, ориентированы на расширение её сортамента. Осваиваются ранее не характерные для данных предприятий марки сталей и сплавов. Получение информации о реальных характеристиках процесса ХПТ позволяет принять адекватные меры по устранению отклонений от требуемых параметров процесса [6–10].

**Материал исследований.** Для анализа величины отклонения реальных значений толщины стенки в контрольных сечениях вдоль рабочего конуса от расчетных (согласно калибровке в тех же сечениях) выбран маршрут прокатки труб из стали TP316L на стане ХПТ-55: 57×6,0 → 25×2,5. Данный маршрут имеет следующие характеристики:

- обжатие по толщине стенки – 58%;
- обжатие по диаметру – 56%;
- Q-фактор – 0,9...1%;
- вытяжка – 5,44 ( $\varepsilon_{\Sigma} = 82\%$ ).

Для этого маршрута с помощью расчетной программы «Вихрь» (ЗАО «Сентравис Продакшн Юкрейн») рассчитана калибровка и изготовлен рабочий инструмент для стана ХПТ-55. В ходе прокатки промышленной партии труб по этому маршруту был отобран конус деформации (рисунок 5).



Рисунок 5. – Конус деформации (рабочий конус) стана ХПТ-55 (сталь TP316L, маршрут 57×6,0 → 25×2,5)

Конус деформации был разрезан на 14 сечений, соответствующих контрольным сечениям калибровки. В каждом сечении было найдено максимальное и минимальное значение толщины стенки и в соответствии с этими данными рассчитано ее среднее значение (таблица 1, рисунок 6).

Таблица 1. – Средние значения толщины стенки в контрольных сечениях рабочего конуса и расчетная толщина стенки согласно калибровке (сталь TP316L, маршрут 57×6,0 → 25×2,5)

№ сечения	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Координата сечения	0	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480	520	560
$S_{расч.}$	6	5,37	4,62	4	3,51	3,13	2,85	2,66	2,56	2,51	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
$S_{факт.}$	5,21	5,07	4,96	4,56	3,94	3,54	3,03	2,7	2,57	2,56	2,49	2,49	2,56	2,53	2,5

Фактическая толщина стенки в большинстве сечений рабочего конуса имеет большие значения, чем расчетная её толщина согласно калибровке.

Учитывая полученные значения, рассчитано отклонение фактических значений от расчетных:

$$D_{мм} = S_{расч.} - S_{факт.}, \text{ мм}; \quad (1)$$

$$D_{\%} = \frac{S_{расч.} - S_{факт.}}{S_{расч.}} \cdot 100\%. \quad (2)$$

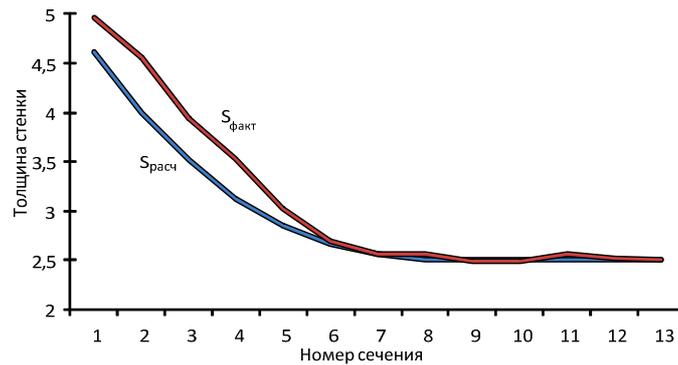


Рисунок 6. – Средние значения толщины стенки в контрольных сечениях рабочего конуса и расчетная толщина стенки согласно калибровке (сталь TP316L, маршрут 57×6,0 → 25×2,5)

Характер распределения функции  $\Delta\%$  вдоль рабочего конуса практически полностью совпадает с характером распределения функции расчетных значений силы деформации (рисунки 7, 8).

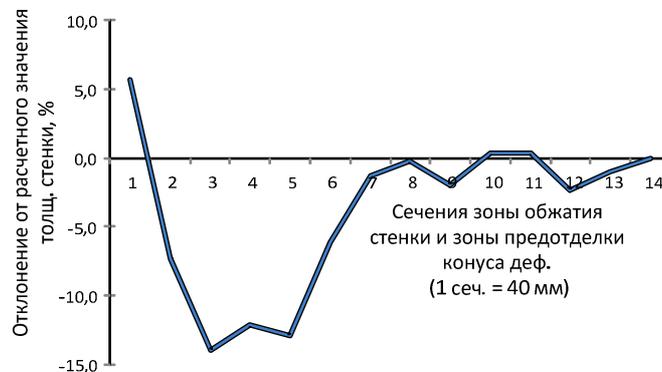


Рисунок 7. – Отклонение среднего значения толщины стенки (согласно замерам) в контрольных сечениях рабочего конуса от ее расчетного значения согласно калибровке (сталь TP316L, маршрут 57×6,0 → 25×2,5)

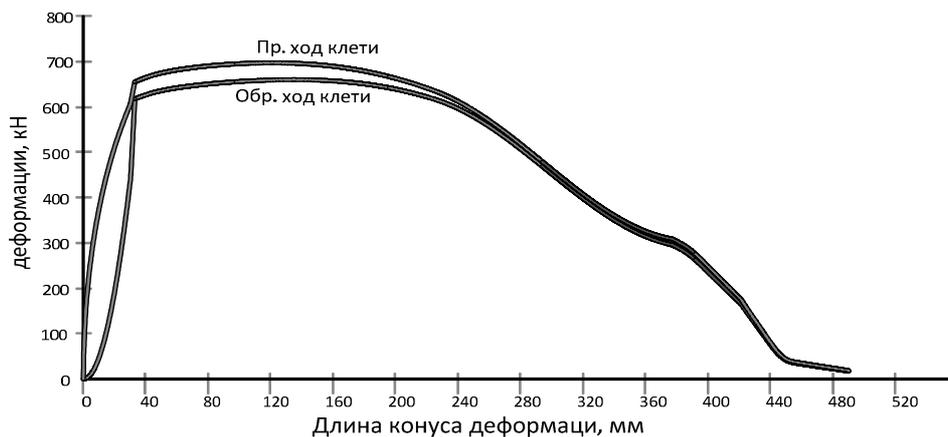


Рисунок 8. – Расчетные значения силы деформации в контрольных сечениях рабочего конуса (сталь TP316L, маршрут 57×6,0 → 25×2,5, стан ХПТ-55)

На основе полученных экспериментальных данных в дальнейшем можно вывести зависимость, которая позволит определять реальное значение толщины стенки в контрольных сечениях рабочего конуса в зависимости от расчетных значений силы деформации (для данной марки стали и для подобного прокатного стана).

**Заключение.** Анализ результатов, полученных в ходе экспериментального исследования изменения точности толщины стенки по длине рабочего конуса стана холодной прокатки труб, позволяет констатировать, что на точность стенки основное влияние оказывают упругая деформация и термические искаже-

ния ручья калибра, связанные с различными технологическими факторами прокатки труб в станах холодной пильгерной прокатки. Анализ литературных источников исследуемой тематики, выполненный в рамках данной работы, подтверждает результаты проведенного эксперимента. Полученные результаты можно использовать при проектировании маршрутов и анализе условий прокатки труб для марки стали TP316L и её аналогов и подобного прокатного стана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Фролов, В.Ф. Холодная пильгерная прокатка труб / В.Ф. Фролов, В.Н. Данченко, Я.В. Фролов. – Днепропетровск : Пороги, 2005. – 255 с.
2. Шевакин, Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб / Ю.Ф. Шевакин. – М. : Metallurgia, 1963. – 212 с.
3. Геометрия прокатного инструмента и алгоритмы его расчета для станов холодной прокатки труб / В.Ф. Балакин [и др.] // Совершенствование производства стали, труб и железнодорожных колес ; под ред. А.Г. Величко, В.И. Большакова, В.Ф. Балакина. – Днепропетровск : ЧМП «Экономика», 2015. – С. 434–450.
4. Петраков, Ю.В. Формирование геометрических моделей ручья калибров станов холодной прокатки труб / Ю.В. Петраков, К.М. Паньків, С.П. Живцов // Вісник Нац. техн. ун-ту України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування : зб. наук. праць. – Вип. 57. – К. : КПІ, 2009. – С. 63–70.
5. Balakin, V.F. Influence of the parameters of the process of the cold pilger tube rolling on the Q-factor distribution along the cone of deformation / V.F. Balakin, S.V. Pilipenko // Itatube-journal. – 2016. – № 1. – С. 94–97.
6. Григоренко, В.У. Определение настроечного зазора между валками на станах холодной периодической прокатки труб / В.У. Григоренко, А.С. Нагний // Системні технології. – 2005. – № 4 (39). – С. 78–83.
7. Григоренко, В.У. Режим деформирования рабочего конуса на станах холодной периодической прокатки труб с учетом упругих деформаций деталей клетки / В.У. Григоренко, А.С. Нагний // Системні технології. – 2005. – № 5 (40). – С. 75–81.
8. Бобух, О.С. Розвиток методу розрахунку раціонального режиму деформації при холодній пильгерній прокатці котельних труб з урахуванням несиметричності формозміни металу : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.С. Бобух ; НМетАУ, 2016.
9. Нагний, О.С. Розвиток методу розрахунку параметрів холодної пильгерної прокатки труб при врахуванні пружної деформації кліти : автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.С. Нагний ; НМетАУ, 2007.
10. Холодная прокатка алюминиевых труб. // Центральный металлический портал. Информационный портал. – URL: [http://metallichekiy-portal.ru/articles/cvetmet/xolodnaa\\_prokatka\\_aluminievix\\_trub/2](http://metallichekiy-portal.ru/articles/cvetmet/xolodnaa_prokatka_aluminievix_trub/2). – Дата обращения: 11.12.2017.
11. Влияние теплового режима прокатки труб на изменение размеров технологического инструмента / Л.В. Тимошенко [и др.] // Сталь. – 1981. – № 5. – С. 53–55.
12. Григоренко, В.У. Об изменении геометрических размеров поперечного сечения ручья калибров станов ХПТ под влиянием теплового расширения / В.У. Григоренко, С.В. Пилипенко // Научный вестник ДДМА : сб. науч. тр. № 1 (6Е). – ДГМА, Краматорск, 2010. – С. 37–42.
13. Finite element modeling of cold pilgering of tubes / Azizoğlu, Yağiz [et al.] A : COMPLAS XIII. “COMPLAS XIII : proceedings of the XIII International Conference on Computational Plasticity : fundamentals and applications”. – CIMNE ed. Barcelona : CIMNE, 2015. – P. 716–726.

Поступила 16.07.2018

#### INFLUENCE OF COLD PIPE ROLLING PARAMETERS TO CHANGE THE WALL THICKNESS ALONG THE CONE OF DEFORMATION

S. PILIPENKO, V. TERESHCHENKO, A. DUDAN

*The influence of the elastic deformation of the cage and thermal distortions of the caliber brook on the change in wall thickness along the working cone of the cold rolling mill tube is considered. The results of the experiments. It was concluded that the accuracy of the wall is mainly influenced by the cage spring and thermal distortions of the caliber brook associated with various technological factors of tube rolling in cold pilger rolling mills. The results of the experiments carried out are necessary for further studies that will be carried out in this direction and can be used in the design of technological pipe rolling routes in cold rolling mills for this steel grade and its analogues and for a similar rolling mill.*

**Keywords:** cold rolling of pipes, mill, technological route, tool calibration, working cone, deformation characteristics.