

УДК 621.774

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСЦЕНТРИЧНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОПЕРЕЧНОЙ РАЗНОСТЕННОСТИ ТРУБЫ ВДОЛЬ КОНУСА ДЕФОРМАЦИИ СТАНА ХПТ

К. А. КУНЧЕВСКИЙ

(Представлено: канд. техн. наук, доц. С. В. ПИЛИПЕНКО,  
канд. техн. наук, доц. О. П. ШТЕМПЕЛЬ)

*В статье приведены результаты исследования влияния процесса холодной пильгерной прокатки труб на изменение эксцентричной составляющей поперечной разностенности трубы вдоль конуса деформации. Результаты работы являются основой для дальнейших исследований, которые будут проводиться в данном направлении и могут быть использованы при проектировании параметров процесса ХПТ.*

**Введение:** холодная прокатка труб на станах типа ХПТ, это циклический процесс обработки металлов давлением [1-3]. Обжатие трубы осуществляется валками с изменяющимся по определенному закону радиусом ручья калибра, закрепленных в клети, совершающей возвратно-поступательное движение вдоль конуса деформации. Процесс ХПТ, один из наиболее выгодных для производства прецизионных труб, из широкого спектра марок сталей и сплавов, так как изменения многочисленные параметры процесса ХПТ имеется возможность управлять как точностью готовых труб, так и их механическими характеристиками (в определенных пределах) [3-4]. В ходе деформации трубы в стане ХПТ производится как исправление исходной разнотонности трубы-заготовки, так и наведение собственной ее величины [3]. Проблемам изучения изменения точности труб в ходе процесса ХПТ посвящено много статей, но важность данного вопроса заставляет исследователей возвращаться к этому важному вопросу [4-5].

**Цель исследования:** исследование изменения эксцентричной составляющей разностенности труб из стали 10ГНА, прокатанных по маршруту 140x6,06-123.08x4.07 мм, на стане ХПТ-160, при ведении процесса прокатки с подачей и поворотом трубы в заднем положении клети.

**Методы исследования:** для исследований, в ходе прокатки промышленной партии труб на стане типа ХПТ-160 (китайский аналог), по маршруту 140x6,06-123.08x4.07 мм (сталь 10ГНА) отбрана пильгерголовка (конус деформации). Процесс прокатки производился с подачей и поворотом трубы, только в заднем положении клети. Из пильгерголовки были вырезаны темплеты, которые соответствуют началу конуса (сечение № 1), концу зону редуцирования (сечение № 2), середине зоны деформации (сечение № 3), началу зоны калибровки (сечение № 4). После замера распределения значений толщины стенки по поперечному сечению отобранных темплетов, анализ полученных данных производился согласно методики, описанной в источнике [3].

**Результаты исследования и обсуждение результатов:** Разностенность труб (рис. 1) — это неравномерность толщины стенки по окружности трубы, возникающая вследствие технологических особенностей процесса прокатки. Она является одним из основных параметров точности геометрических размеров труб наряду с овальностью. Разностенность может быть исходной, обусловленной качеством заготовки, и наведенной, возникающей в процессе холодной пильгерной прокатки. На ее величину влияют такие факторы, как угол развалки калибра, жесткость клети, параметры подачи и вытяжки, а также форма поперечного профиля ручья. Снижение угла развалки и повышение жесткости клети способствуют уменьшению поперечной разностенности готовых труб. Контроль и минимизация разностенности позволяют повысить точность, надежность и экономичность трубных изделий. В данном работе, кроме прочего, исследовалось изменение эксцентричной составляющей поперечной разностенности трубы вдоль конуса деформации, при ведении процесса ХПТ с подачей и поворотом заготовки только в заднем положении клети.

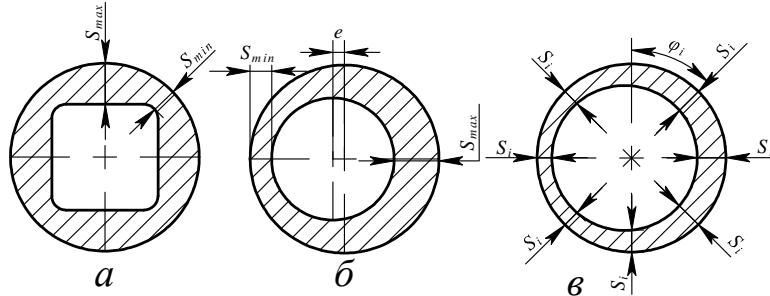
В [2, 3-7] для прогнозирования изменения относительной разностенности в ходе процесса предложили следующую зависимость:

$$\Delta s_{\text{отн.} \text{mp.}} = \Delta s_s \cdot (0,27s_T + 0,13) - (3,7 - 0,44s_T)\eta + (0,068 - 0,034s_T)\Delta s_s\eta - s_T + K_s, \quad (1)$$

где  $\eta$  — дробность деформации;  $\Delta s_s$  — разностенность заготовки в %  $K_s$  — коэффициент учитывающий техническое состояние стана, величину развалки; параметры калибровки рабочего инструмента; величину упругой деформации клети.

При анализе ф. (1) можно отметить, что на точность труб влияет величина обжатия по площади поперечного сечения трубы, величина подачи, исходная разностенность трубы-заготовки, техническое

состояние стана, параметры калибровки рабочего инструмента и пр. Из многочисленных исследований [1] известно, что при исходной разностенности трубы ниже 4-5 %, в ходе прокатки разностенность трубы не уменьшается, а может даже несколько увеличиться. Это связано с тем, что разностенность труб, про-катанная в конкретном стане, не может быть меньше той величины разностенности, которая наводится на трубу этим станом ХПТ.



а – граненность; б – эксцентричность разностенности;  
в – возможная схема замера толщины стенки трубы по поперечному ее сечению

Рисунок 1. – Различные виды поперечной разностенности

Абсолютную разностенность, исходя из результатов замеров можно рассчитать по формуле:

$$\Delta s_{a\delta\text{сол.}} = s_{\max} - s_{\min}, \text{ мм} \quad (2)$$

Абсолютную разностенность, исходя из результатов замеров можно рассчитать по формуле:

$$\Delta s_{omnosc.} = \frac{\Delta s_{a\delta\text{сол.}}}{s_{cp}} \cdot 100\%, \text{ мм} \quad (3)$$

где:  $s_{cp}$  – средняя толщина стенки в поперечном сечении, исходя из полученных замеров.

Эксцентризитет сечения трубы, в свою очередь рассчитывается по формуле:

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n s_i \cos \phi_i}{\sum_{i=1}^n \cos^2 \phi_i} \cdot 100\%, \text{ мм} \quad (4)$$

Часть дисперсии, обусловленная эксцентричностью:

$$\sigma_e^2 = \frac{e^2}{2} \quad (5)$$

Суммарная дисперсия толщины стенки:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (s_i - s_{cp})^2}{n} \quad (6)$$

Доля, вносимая в отклонение толщины стенки эксцентричностью:

$$a_e = \frac{\sigma_e^2}{\sigma^2} \quad (7)$$

В таблице 1 показаны данные замеров толщины стенки в поперечных сечениях отобранных темплетов и результаты расчетов величины разностенности.

Как видно из результатов расчетов (табл. 1) исходная разностенность трубы-заготовки не превышает 6,3 %, что является хорошим показателем для горячедеформированной трубы. Вдоль

конуса деформации, поперечная разностенность трубы непрерывно уменьшается, вплоть до 4,7 %. Данний факт говорит, как о хорошей способности стана исправлять исходную поперечную разностенность, так и о низкой величине наведенной станом разностенности.

Таблица 1

Угол (град)	0	45	90	135	180	225	270	315	$e$	$\Delta S_{\text{абсол}}$ мм	$\Delta S_{\text{относ}}$ %	$\sigma_2$	$\sigma_3^2$	$a_3$
№ 4	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,75	4,75	4,7	-0,009	4,75	4,7	0,000469	$3,906 \times 10^{-5}$	8,333
№ 3	5,1	5,1	5,1	5,1	5,05	5,1	5,1	5,1	0,012	5,1	5,05	0,000273	$7,812 \times 10^{-5}$	28,571
№ 2	6,1	6	6,1	6	6,2	6,2	6,1	5,9	-0,078	6,2	5,9	0,009375	$3,045 \times 10^{-3}$	32,476
№ 1	6,27	6,1	6	6	6	6	6	6,1	0,103	6,27	6	0,008161	$5,290 \times 10^{-3}$	64,82

На рисунке 2 показан график изменения доли разностенности, вносимая эксцентричностью поперечного сечения трубы ( $a_3$ ). Как видно из рисунка, в ходе деформации труб на данном стане ХПТ, вдоль конуса деформации наблюдается не только уменьшение поперечной разностенности (как абсолютных ее значений, так и относительных), а и уменьшение эксцентричной ее составляющей с 64,83 % до 8 %  $a_3$ .

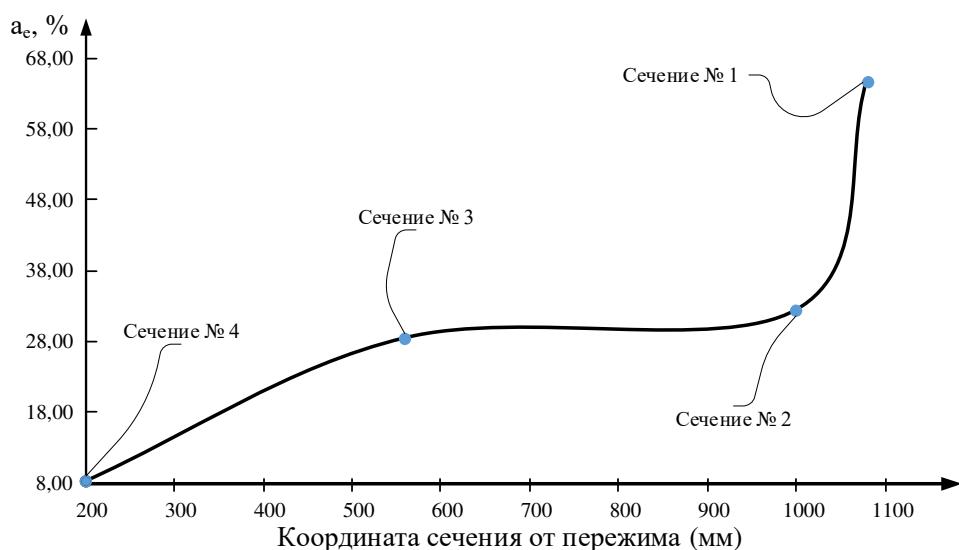


Рисунок 2. – График изменения доли разностенности (вдоль конуса деформации стана ХПТ), вносимой эксцентричностью поперечного сечения трубы

**Заключение.** В ходе исследования установлено, что изменение поперечной разностенности трубы вдоль конуса деформации в процессе холодной пильгерной прокатки определяется рядом взаимосвязанных факторов: исходной разностенностью заготовки, параметрами калибра, жесткостью клети и дробностью деформации. Определено, что в ходе деформации трубы в стане ХПТ эксцентричная составляющая величины поперечной разностенности уменьшается. Результаты исследования могут быть использованы при проектировании режимов холодной пильгерной прокатки и калибровочных инструментов для производства прецизионных труб из углеродистых и легированных сталей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шевакин Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб. – М.: Металлургиздат, 1963. – 269 с
2. Орро П.И. Производство стальных тонкостенных труб: [Монография] / П.И. Орро, Я.Е. Осада. - М. Харьков: Металлургиздат, 1951. - 416 с.

3. Столетний М.Ф., Клемперт Е.Д. Точность труб. – М.: Металлургия, 1975. – 240 с.
4. Хаустов Г.И. Исследование точности прокатки холоднокатанных труб: автореферат дис. На соискание степени канд. тех. наук: спец. 324 «Обработка металлов давлением» / Хаустов Г.И. - Днепропетровск, 1971. – 20 с.
5. Пилипенко С. В. Теоретические основы холодной пильгерной прокатки труб / С. В. Пилипенко. – Новополоцк: Полоцк. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. – 288 с.
6. Grigorenko V.U., Pilipenko S.V. VARIATION IN WALL THICKNESS OF COLD-ROLLED PIPE // Steel in Translation. 2008. Т. 38. № 9. С. 775-776.
7. Пилипенко С.В. Исследование изменения разностенности труб в ходе прокатки на стане ХПТ // Сталь, 2016 № 3. С. 32-37