

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЛИПСНОЙ И КРУГЛОЙ С ВЫПУСКАМИ ПО РАДИУСУ ФОРМ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ РУЧЬЯ КАЛИБРА СТАНА ХПТ НА ПОПЕРЕЧНУЮ РАЗНОСТЕННОСТЬ ТРУБ

**С. В. Пилипенко**, канд. техн. наук;

**В. У. Григоренко**, д-р техн. наук, профессор;

**И. В. Маркевич**, канд. техн. наук;

**В. Н. Мищенко\***,

Национальная металлургическая академия Украины,  
г. Днепрпетровск;

\*«ВТУ», г. Никополь

*В статье приведены исследования влияния форм поперечного сечения ручья калибров станов ХПТ на точность труб. Исследования проводились на двух формах калибров: эллипсной и круглой с выпуклостями по радиусу. Исследование провели при прокатке титановых труб из сплава Gr2. В ходе прокатки отобрано и обмерено два конуса деформации. Результаты обработки данных эксперимента показывают особенности изменения разностенности труб вдоль конуса деформации при использовании двух указанных типов поперечного сечения ручья калибра.*

**Ключевые слова:** холодная пильгерная валковая прокатка труб, ручей калибра, форма поперечного сечения, точность труб.

*У статті наведені дослідження впливу форм поперечного перерізу ривчака калібрів станів ХПТ на точність труб. Дослідження проводилися на двох формах калібрів: еліпсній і круглій з випуклостями по радіусу. Дослідження провели при прокатці титанових труб зі сплаву Gr2. У ході прокатки відібрано й обміряно два конуси деформації. Результати обробки даних експерименту показують особливості зміни різностінності труб уздовж конуса деформації при використанні двох зазначених типів поперечного перерізу ривчака калібру.*

**Ключові слова:** холодна пільгерна валкова прокатка труб, ривчак калібру, форма поперечного перерізу, точність труб.

### ВВЕДЕНИЕ

Рабочей частью калибра стана ХПТ является ручей переменного сечения. Продольной формой такого ручья задают необходимое изменение режима деформации вдоль рабочего конуса деформации. Не менее важной является форма поперечного сечения ручья [1, 2]. Она влияет на способность стана раскатывать исходящую разностенность труб-заготовок, влияет на деформационные и силовые параметры процесса, от неё зависит качество наружной поверхности труб.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Важно знать, на какие параметры процесса ХПТ и в какой мере влияет та или иная форма калибров. В особенности важно, как форма калибров влияет на способность стана исправлять исходную разностенность.

### АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно использование четырех форм профиля калибров в процессах ХПТ: профиль, образованный эллипсами (рис. 1 а); профиль, образованный дугами окружностей с двумя радиусами (рис. 1 б) (круглая с выпуклостями по радиусу); круглый профиль с развалкой «по прямой» (рис. 1 в); «однорядусный» профиль с эксцентриситетом (рис. 1 г) [3].

Исследованиям изменения разностенности в ходе деформации стана ХПТ в литературе уделялось немало внимания, однако в основном исследовались случаи прокатки в калибрах второго и третьего типов (см. рис. 1). При этом исследования проводились на трубах из углеродистых или легированных марок сталей.

В источнике [4] для расчета величины разностенности готовой трубы предлагается зависимость

$$\Delta s_T = \Delta s_3 \cdot \left( 0,1 + 0,9 \frac{D_3}{D_T} \right) + \Delta s_n, \quad (5)$$

где  $\Delta s_n$  – наведенная в стане разностенность (2-5% в зависимости от конструкции и состояния оборудования стана);  $\Delta s_3$  – разностенность заготовки в %.

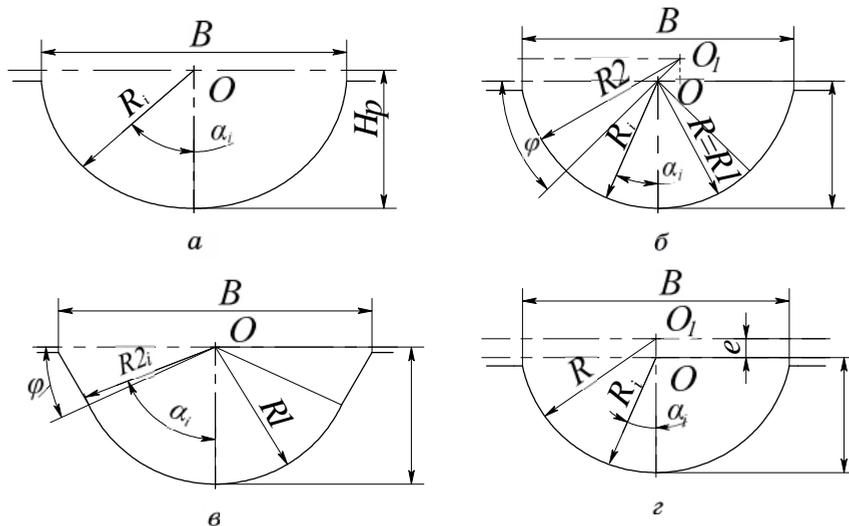


Рисунок 1 - Формы поперечных сечений профиля ручья калибров стана ХПТ:  
 а – профиль, образованный эллипсами; б – профиль, образованный дугами окружностей с двумя радиусами; в – круглый профиль с развалкой «по прямой»; г – «однорациусный» профиль с эксцентриситетом [4]

В этом же источнике приведены результаты исследований влияния коэффициента овальности калибра 2-го типа (см. рис. 1) на разностенность труб [4] (табл. 1).

Таблица 1 - Данные о влиянии коэффициента овальности калибра на разностенность труб [4]

Уравнение регрессии	Коэффициент овальности на обжимном уч.	
	В начале	В конце
$\Delta s_T = 2,1 + 0,66\Delta s_3$	1,0171	1,0176
$\Delta s_T = 4,0 + 0,59\Delta s_3$	1,026	1,03
$\Delta s_T = 3,0 + 0,65\Delta s_3$	1,03	1,35
$\Delta s_T = 1,7 + 0,70\Delta s_3$	1,06	1,03

В табл. 2 показаны результаты двухфакторного эксперимента, в ходе которого исследовалось влияние величины обжатия трубы и подачи на изменение величины разностенности труб из стали 10 [5].

Для визуализации результата этого эксперимента авторами статьи на основе указанных в табл. 2 данных построен 3-мерный график увеличения относительной разностенности труб в зависимости от величины подачи и вытяжки при прокатке на стане ХПТ (рис. 2). Из графика видно, что с увеличением вытяжки и увеличением подачи способность стана исправлять разностенность уменьшается.

Интересным является то, что, начиная с подачи 11 мм и до максимума, при уменьшении вытяжки и увеличении подачи, степень увеличения точности труб по толщине стенки растёт. Этот фактор требует дополнительных исследований.

Таблица 2 - Точность труб, прокатанных на стане ХПТ при проведении двухфакторного эксперимента [5]

Параметры заготовки		Разностенность заготовки		Подача, мм	Вытяжка	Параметры трубы		Разностенность трубы	
D <sub>з</sub>	S <sub>з</sub>	Абс. мм	Отн. %			D <sub>т</sub>	S <sub>т</sub>	Абс., мм	Отн., %
57	3,5	3,48	13,4	9	3,54	32	1,75	1,85	5,4
		3,39	11,5	11				1,89	6,35
		3,41	12,9	13				1,87	5,35
57	4	4,01	9,45	9	4,00	32	1,75	1,78	5,62
		4,06	12,6	11				1,89	7,4
		3,86	11,6	13				1,84	8,15
57	4,5	4,33	11,2	9	4,46	32	1,75	1,91	6,8
		4,33	11,3	11				1,94	6,7
		4,28	9,55	13				1,93	6,73

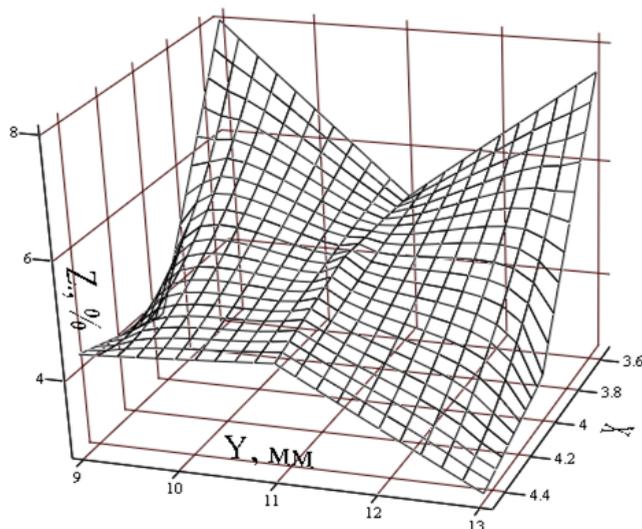


Рисунок 2 - Увеличение относительной разностенности труб в зависимости от величины подачи и вытяжки при прокатке на стане ХПТ: ось x – вытяжка; ось y – подача, мм; ось z – величина увеличения относительной разностенности ( $Z = (\Delta S_m / S_{ср.м}) \cdot 100 - (\Delta S_z / S_{ср.з}) \cdot 100$ ), % [6]

## ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований является определение влияния эллипсной и круглой с выпусками по радиусу форм поперечного сечения ручья калибра стана ХПТ на поперечную разностенность труб из титановых сплавов.

## ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследование провели при прокатке титановых труб из сплава Gr2. Маршрут прокатки –  $28 \times 3,2 - 19,05 \times 2,3$  мм на стане ХПТ-32. В ходе эксперимента было прокатано два конуса: 1 - в калибрах с профилем ручья, образованным дугами окружностей с двумя радиусами (далее «с выпуском по радиусу»); 2 - с профилем, образованным эллипсами (далее «по эллипсу»). При этом другие параметры калибровки были идентичными.

Каждый из отобранных конусов был разрезан поперек на 19 равных частей. В каждом сечении найдены максимальные и минимальные значения толщин стенки, а также её значения в восьми сечениях каждого патрубка конуса деформации. Измерения проводились микрометром повышенной точности. Результаты замеров показаны в табл. 3 и 4.

*Таблица 3 - Изменения разностенности трубы вдоль конуса деформации стана ХПТ при использовании калибра с профилем ручья «с выпуском по радиусу» (маршрут  $28 \times 3,2 - 19,05 \times 2,3$ , сплав Gr2)*

№ сеч.	Толщина стенки в поперечных сечениях конуса								Разностенность	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Абс., мм	Отн., %
1	3,12	3,11	3,2	3,4	3,43	3,34	3,3	3,2	0,32	9,8
2	3,13	3,13	3,18	3,21	3,42	3,41	3,36	3,35	0,29	8,9
3	3,11	3,14	3,23	3,27	3,39	3,39	3,37	3,35	0,28	8,5
4	3,14	3,15	3,18	3,39	3,38	3,34	3,33	3,33	0,25	7,6
5	3,15	3,18	3,22	3,24	3,4	3,22	3,21	3,2	0,25	7,7
6	3,17	3,22	3,31	3,42	3,42	3,35	3,34	3,35	0,25	7,5
7	3,05	3,083	3,2	3,25	3,28	3,25	3,24	3,25	0,23	7,2
8	2,83	2,87	2,9	3,05	3,0,5	2,9	2,97	2,95	0,22	7,5
9	2,8	2,85	2,89	2,9	2,93	2,83	2,8	2,72	0,21	7,4
10	2,63	2,63	2,69	2,8	2,79	2,75	2,7	2,72	0,17	6,3
11	2,51	2,58	2,55	2,59	2,6	2,68	2,6	2,6	0,17	6,6
12	2,5	2,55	2,59	2,53	2,55	2,47	2,44	2,43	0,16	6,4
13	2,48	2,49	2,55	2,62	2,53	2,46	2,48	2,45	0,17	6,8
14	2,43	2,47	2,42	2,51	2,5	2,45	2,4	2,35	0,16	6,6
15	2,39	2,38	2,37	2,4	2,53	2,48	2,46	2,35	0,18	7,4
16	2,36	2,4	2,45	2,49	2,48	2,52	2,45	2,43	0,16	6,5
17	2,38	2,37	2,39	2,47	2,53	2,48	2,4	2,39	0,16	6,6
18	2,36	2,38	2,4	2,49	2,5	2,52	2,45	2,43	0,16	6,6
19	2,39	2,37	2,42	2,49	2,52	2,5	2,49	2,4	0,15	6,1

Таблица 4 - Изменения разностенности трубы вдоль конуса деформации стана ХПТ при использовании калибра с профилем ручья «по эллипсу» (маршрут 28 × 3,2 – 19,05 × 2,3, сплав Gr2)

№ сеч.	Толщина стенки в поперечных сечениях конуса								Разностенность	
	1	2	3	4	5	6	7	8	Абс., мм	Отн., %
1	3,08	3,12	3,19	3,28	3,34	3,36	3,38	3,28	0,3	9,2
2	3,12	3,09	3,15	3,19	3,24	3,31	3,37	3,38	0,29	9,0
3	3,11	3,09	3,14	3,22	3,28	3,34	3,38	3,39	0,3	9,2
4	3,11	3,13	3,16	3,23	3,29	3,36	3,38	3,41	0,3	9,2
5	3,34	3,28	3,27	3,18	3,21	3,28	3,28	3,44	0,26	7,9
6	3,32	3,21	3,21	3,23	3,3	3,32	3,42	3,47	0,26	7,9
7	3,03	3,08	3,16	3,19	3,22	3,23	3,24	3,27	0,24	7,6
8	2,88	2,89	2,92	3	3,06	3,04	3,08	3,1	0,22	7,3
9	2,91	2,92	2,91	2,88	2,81	2,75	2,78	2,84	0,17	6,0
10	2,64	2,65	2,66	2,71	2,73	2,76	2,71	2,73	0,12	4,4
11	2,58	2,53	2,51	2,53	2,58	2,58	2,62	2,68	0,17	6,6
12	2,6	2,59	2,55	2,48	2,45	2,46	2,51	2,54	0,15	5,9
13	2,57	2,47	2,44	2,43	2,46	2,48	2,48	2,54	0,14	5,6
14	2,51	2,42	2,4	2,39	2,44	2,45	2,48	2,51	0,12	4,9
15	2,37	2,37	2,4	2,43	2,46	2,5	2,52	2,5	0,15	6,1
16	2,49	2,53	2,51	2,45	2,39	2,38	2,39	2,43	0,15	6,1
17	2,47	2,52	2,54	2,52	2,44	2,38	2,38	2,39	0,16	6,5
18	2,47	2,5	2,52	2,48	2,43	2,4	2,38	2,42	0,14	5,7
19	2,51	2,45	2,39	2,38	2,41	2,43	2,48	2,52	0,14	5,7

Для наглядности полученные результаты показаны в виде графиков изменения поперечной разностенности вдоль конуса деформации (рис. 3 – относительные значения разностенности, рис. 4 – абсолютные)

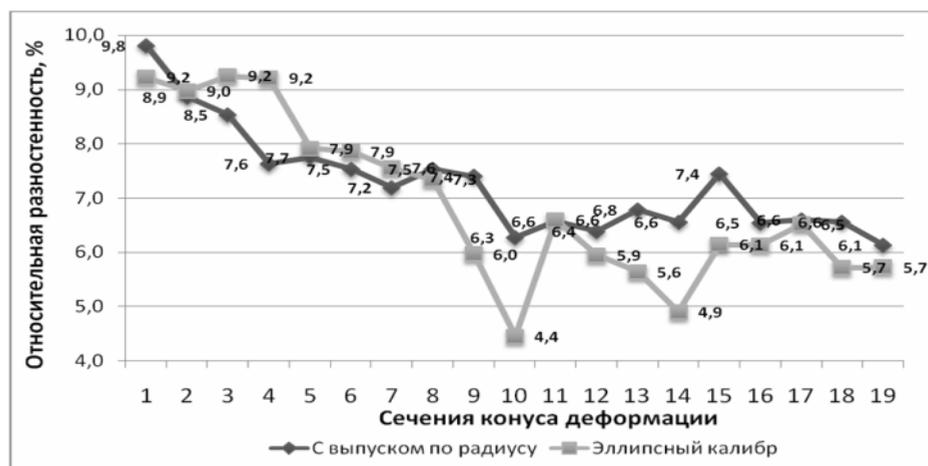


Рисунок 3 - Изменение относительной разностенности трубы вдоль конуса деформации стана ХПТ при использовании калибров с разными профилями ручья (маршрут 28 × 3,2 – 19,05 × 2,3, сплав Gr2)

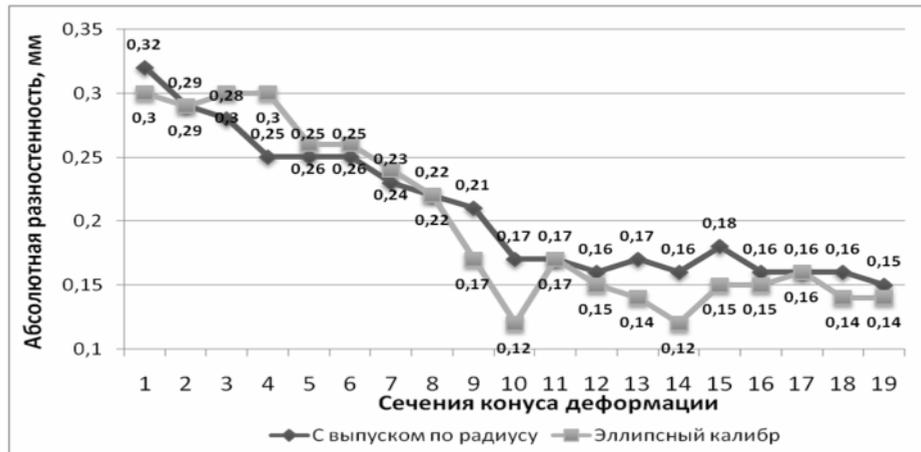


Рисунок 4 - Изменение абсолютной разностенности трубы вдоль конуса деформации стана ХПТ при использовании калибров с разными профилями ручья (маршрут 28x3,2 – 19,05x2,3, сплав Gr2)

### ВЫВОДЫ

Из графиков изменения разностенности (см. рис. 3 и рис. 4) видно, что в зоне редуцирования как абсолютные, так и относительные значения разностенности более интенсивно падают в случае использования калибра с ручьём «с выпуском по радиусу» (с 9,8 до 7,7% или от 0,32 до 0,25 мм). При использовании профиля ручья «по эллипсу» эти значения не изменяются (9,2%, 0,3 мм). В зоне обжатия стенки более интенсивно значения разностенности снижаются в ручье «по эллипсу» (с 9,2 до 6,1% или от 0,3 до 0,15 мм). В случае прокатки в ручье «с выпуском по радиусу» значения разностенности изменяются не столь интенсивно (с 7,7 до 6,6% или от 0,25 до 0,16 мм). В конце конуса деформации калибра с ручьём «с выпуском по радиусу» достигнуто разностенность 6,1 % (0,15 мм), с ручьём «по эллипсу» 5,7 % (0,14 мм).

Исходная разностенность конуса, полученного от ручья «с выпуском по радиусу», была выше, в зоне редуцирования наблюдалось значительное уменьшение разностенности. В то же время в ручье «по эллипсу» она оставалась прежней. В зоне деформации наблюдался обратный эффект. Поэтому полученные значения разностенности близки.

Данные результаты требуют дополнительных экспериментальных исследований как в случае использования указанного сплава, так и для других материалов.

### SUMMARY

*Pilipenko S., Grigorenko V., Markevich I., Misthenko V.*

*In the present paper investigation are described concerning the influence of the form of pass groove cross section in the CTR mill on precision of tubes. Investigations had been carried out while rolling titanium tubes of alloy Gr 2. Two cones of deformation had been taken and measured. Results treatment of experimental data show the particularities of changing the tube wall thickness deviation along the cone of deformation while using two mentioned types of transversal roll pass gross section.*

**Key words:** cold pilger tube rolling, passygroove, cross section form. precision of tubes

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фролов В. Ф. Холодная пыльгерная прокатка труб / В. Ф. Фролов, В. Н. Данченко, Я. В. Фролов. - Днепропетровск: Пороги, 2005. - 255 с.
2. Дехтярев В. С. Новый метод построения поперечного профиля рабочей части ручья калибров станов ХПТ / В. С. Дехтярев, Я. В. Фролов // Теория и практика

- металлургии: сб. трудов Национальной металлургической академии Украины №1. – Днепропетровск, 2007. - С. 25-29.
3. Петраков Ю. В. Формирование геометрических моделей ручья калибров станов холодной прокатки труб / Ю. В. Петраков, К. М., Панькив С. П. Живцов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування: збірник наукових праць. – К.: КПІ, 2009. - Вип. 57. - С.63-70.
  4. Хаустов Г. І. Исследование точности прокатки холоднокатаных труб: автореферат ди... канд. тех. наук: спец. 324 / Г. И. Хаустов. - Днепропетровск, 1971. – 20 с.
  5. Столетний М. Ф. Точность труб / М. Ф. Столетний, Е. Д. Клемперт. – М.: Металлургия, 1975. - 239 с.

*Поступила в редакцию 19 апреля 2011 г.*