

УДК 621.774.16

Пилипенко С. В.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА РАЗВАЛКИ И ЖЕСТКОСТИ КЛЕТИ НА ПОПЕРЕЧНУЮ РАЗНОСТЕННОСТЬ ТРУБ, ПРОКАТАННЫХ НА СТАНЕ ХПТ\***

Процесс ХПТ используется для производства высокоточных труб из дорогих марок сталей и сплавов. Как показывают исследования [1–2], точность труб, прокатанных на стане ХПТ, зависит от точности заготовки и ряда технологических факторов, сопутствующих процессу холодной пильгерной прокатки труб. Из множества технологических факторов можно выделить: величину подачи и вытяжки; величину развалки; длину предотделочного участка; величину упругой деформации клетки [3]; тип процесса [4–5] и пр. Каждый из этих факторов влияет на конечную величину разностенности в той или иной мере.

Цель работы – определить величину степени влияния угла развалки и жесткости клетки на поперечную разностенность труб, прокатанных на стане ХПТ. Точность труб по толщине стенки является важным показателем процесса ХПТ. Она зависит от множества факторов. Степень влияния большинства из них до конца не уточнена. Результаты исследования могут оказать положительное влияние как на построение технологического процесса ХПТ, так и на развитие оборудования холодной пильгерной прокатки. Исходя из этого, цель работы является актуальной.

Известно, что прокатка на станах ХПТ труб со значительной величиной поперечной разностенности приводит к снижению как абсолютных, так и относительных ее значений. При величине разностенности ниже 6 % поперечная разностенность может даже увеличиваться [1].

Это случается из-за того, что в ходе процесса прокатки идет два процесса – исправление исходной разностенности и наведение новой, собственной. Величина наведенной разностенности колеблется от 3 до 7 % [1].

Для качественной оценки величины поперечной разностенности можно использовать зависимость [6]:

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

где  $\Delta s_H$  – наведенная в стане разностенность (2–5 % в зависимости от конструкции и состояния оборудования стана);

$\Delta s_3$  – разностенность заготовки в %.

Известно, что для достижения высокой точности труб целесообразно снижать величину подачи и увеличивать вытяжку (при равенстве линейных смещений) [1].

В источнике [5] исследовано влияние различных сочетаний выполнения поворота – подачи на величину поперечной разностенности труб.

В ходе исследований труба из стали 08X18H10T прокатывалась на стане ХПТ 6-20 по маршруту  $25 \times 2,5 \rightarrow 16 \times 1,5$  по следующим режимам: подача перед прямым ходом клетки + поворот перед обратным ходом клетки; подача перед прямым ходом клетки + поворот перед прямым и обратным ходом клетки; подача перед прямым и обратным ходом клетки + поворот перед обратным ходом клетки; подача и поворот перед прямым и обратным ходом клетки.

\* Работа выполнена при участии проф. Григоренко В. У.

При проведении эксперимента по каждому из режимов было прокатано по отрезку трубы длиной около метра (из трубы – заготовки равной разностенности) с подачами ( $m$ ): режим 1 и режим 2 –  $m = 2, 3, 4$  и  $5$  мм; режим 3 и режим 4 –  $m = 2 + 2, 2,5 + 2,5, 3 + 3, 3,5 + 3,5, 4 + 4$  мм.

Анализ исследования показал [5], что при прокатке трубы с поворотом в обоих положениях клетки, а подачей прямым ходом поперечная разностенность в 1,5 раза меньше, чем для процесса с подачей перед прямым и поворотом перед обратным ходом клетки. Разностенность при подаче и повороте в обоих положениях клетки одинакова с указанным выше процессом клетки, но производительность при этом значительно больше.

Как писалось выше, при прокатке труб на стане ХПТ разностенность не только исправляется, но и наводится. В [1] указано, что при прокатке труб в наибольшей степени относительная разностенность уменьшается в первых проходах, тогда как в последующих она остается на прежнем уровне. При этом абсолютная разностенность уменьшается непрерывно. В этом, среди прочего, виновата и наведенная каждым станом разностенность. В работе [7] указано, что на величину наведенной разностенности, кроме других факторов, влияет величина угла выпуска и степень тесноты ручья:

$$\eta = \frac{F_x}{F_p}, \quad (2)$$

где  $F_p$  – площадь трубы в сечении;

$F_x$  – площадь калибра в сечении.

Автором статьи в соавторстве было исследовано влияние формы ручья на точность труб [8]. 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. Следует заметить, что чистовая шлифовка ручья калибра производилась на современном станке с ЧПУ с повышенной точностью изготовления формы ручья. 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. Обнаружено, 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» достигнута разностенность 6,1 % (0,15 мм), с ручьём «по эллипсу» 5,7 % (0,14 мм). Из приведенного следует, что разностенность трубы с ручьём «по эллипсу» несколько ниже.

Все указанные выше исследования производились на небольших партиях труб, так что с точки зрения статистики любые исследования влияния технологических факторов на точность труб являются актуальными.

Для дальнейших исследований выбраны два направления: влияние величины угла развалки на точность труб; влияние повышенной жесткости клетки на точность труб. В качестве материала труб выбран титановый сплав Gr2. Касательно первого фактора следует заметить, что точность изготовления калибров в последнее время значительно повысилась.

Многие предприятия, использующие станы холодной прокатки, произвели реконструкцию морально устаревших станков на высоком уровне. Так что данные исследования можно производить с более высокой точностью учета данных технологических факторов. На этих же предприятиях происходит процесс замены и реконструкции устаревших станков ХПТ и ХПТР. Появляется возможность исследовать влияние повышения жесткости клетки на величину разностенности.

Для исследований влияния величины угла развалки на точность труб было прокатано по 42 трубы сплава Gr2 в калибрах с развалкой  $30^\circ$  и  $60^\circ$  на стане ХПТ 32 по маршруту  $24 \times 4,1-15,1 \times 2,4$ . Разностенности труб в обоих пакетах до прокатки были сопоставимыми и колебались в пределах от 7 до 16 % (в каждом пакете). Кроме угла развалки все параметры калибровки обоих калибров были идентичны: как величина развалки, так и глубина ручья (см. рис. 1 и 2).



Рис. 1. Параметры ручья калибров стана ХПТ-32 (маршрут  $24 \times 4,1-15,1 \times 2,4$ , сплав Gr2)

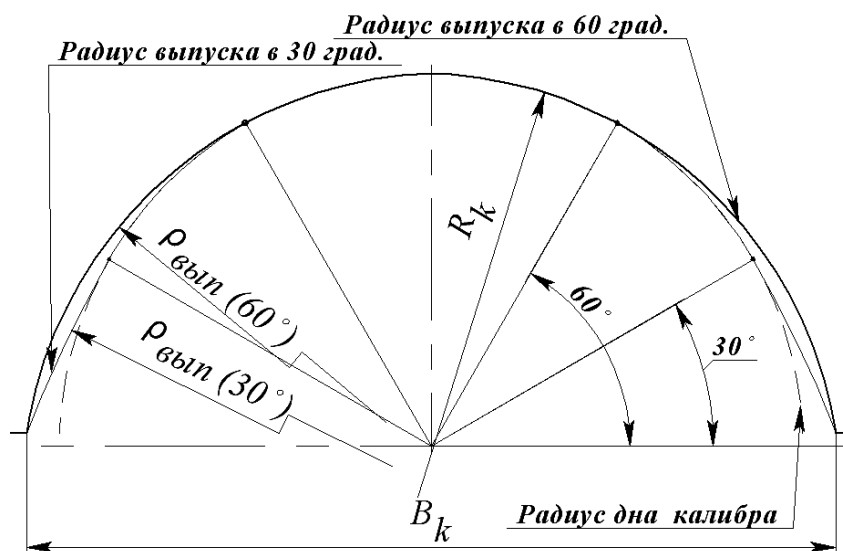


Рис. 2. Сравнение параметров двух радиусных калибров с развалкой  $30^\circ$  и  $60^\circ$  при равных ширине, глубине и радиусе калибра

После прокатки все трубы подверглись ультразвуковой диагностике, в ходе которой, среди прочих параметров, была замерена поперечная разностенность труб во всех сечениях вдоль каждой трубы. Данные сведены в таблицу и обработаны. Результаты обработки показаны на полигонах частот относительной и абсолютной поперечной разностенности (рис. 3).

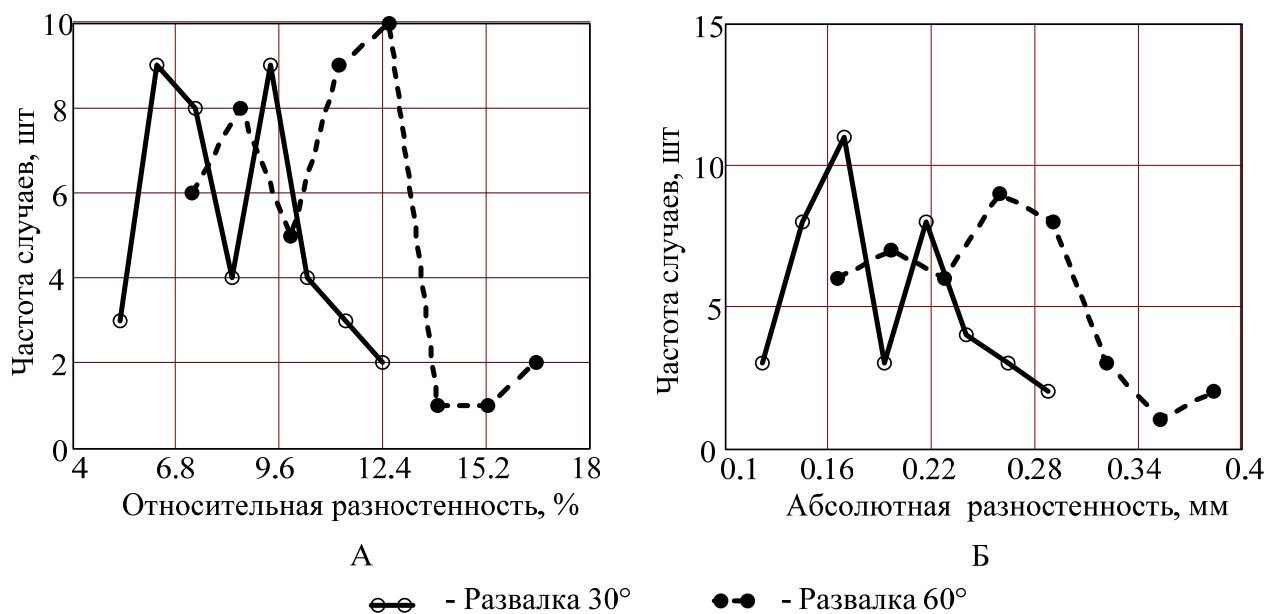


Рис. 3. Полигоны поперечной разностенности труб из сплава Gr2, прокатанных на стане ХПТ-32 по маршруту  $24 \times 4,1-15,1 \times 2,4$ , с использованием калибров с различной величиной угла развалки при прочих равных параметрах

Как видно из полигонов, при прокатке труб в калибрах с развалкой  $60^\circ$  среднее значение разностенности составило 10,8 % (0,25 мм), при среднеквадратическом отклонении 2,548 % (0,059 мм). Прокатка труб в калибрах с развалкой  $30^\circ$  показала следующие результаты: среднее значение разностенности 8,22 % (0,191 мм); среднеквадратическое отклонение 1,99 % (0,046 мм).

Максимальные значения разностенности в калибрах с развалкой  $60^\circ$  – 17,3 % против 12,93 % с развалкой  $30^\circ$ . Минимальные значения в калибрах с развалкой  $60^\circ$  – 6,57 % против 4,77 % с развалкой  $30^\circ$ .

Анализ результатов прокаток показывает, что средняя разностенность труб при прокатке в калибрах с развалкой  $30^\circ$  на 2,58 % (0,059 мм) меньше, чем при прокатке в калибрах с развалкой  $60^\circ$ . Меньше и разбег значений поперечной разностенности, о чем говорят меньшие значения среднеквадратического отклонения. Вышесказанное свидетельствует не только о лучшей способности исправлять разностенность, а и меньшей величине наведенной станом поперечной разностенности в случае прокатки труб в калибрах с углом развалки в  $30^\circ$ .

Полученные значения максимального и минимального значений разностенности тоже показали преимущества калибров с развалкой  $30^\circ$  (максимальная на 4,37 % меньше, а минимальная меньше на 1,8 %). По данным результатам можно сделать вывод, что наведенная разностенность при прокатке труб в калибрах с развалкой  $30^\circ$  меньше, чем при прокатке в калибрах с развалкой  $60^\circ$ .

Целью следующего исследования является влияние повышения жесткости клетки на точность труб. Для исследований выбраны станы ХПТ – 32 с клетью повышенной жесткости. В ходе эксперимента было прокатано два пакета труб. Первый из титанового сплава Ti-3Al-2.5V по маршруту  $16 \times 1,7-10 \times 1,05$  (далее пакет № 1). Второй из сплава Gr2 по маршруту  $25 \times 2,8-18 \times 1,5$  (далее пакет № 2). В первом пакете из 25 труб-заготовок выкатано 65 труб готового размера. Во втором пакете из 27 труб-заготовок выкатано 72 трубы. Прокатка велась в калибрах с развалкой  $60^\circ$ .

До и после прокатки трубы подвергались диагностике на установке УЗК, в ходе которой, среди прочих параметров, была замерена поперечная разностенность труб во всех сечениях вдоль каждой трубы. На рис. 4 показаны полигоны параметров распределения частот поперечной разностенности 1-го пакета, на рис. 6 – 2-го.

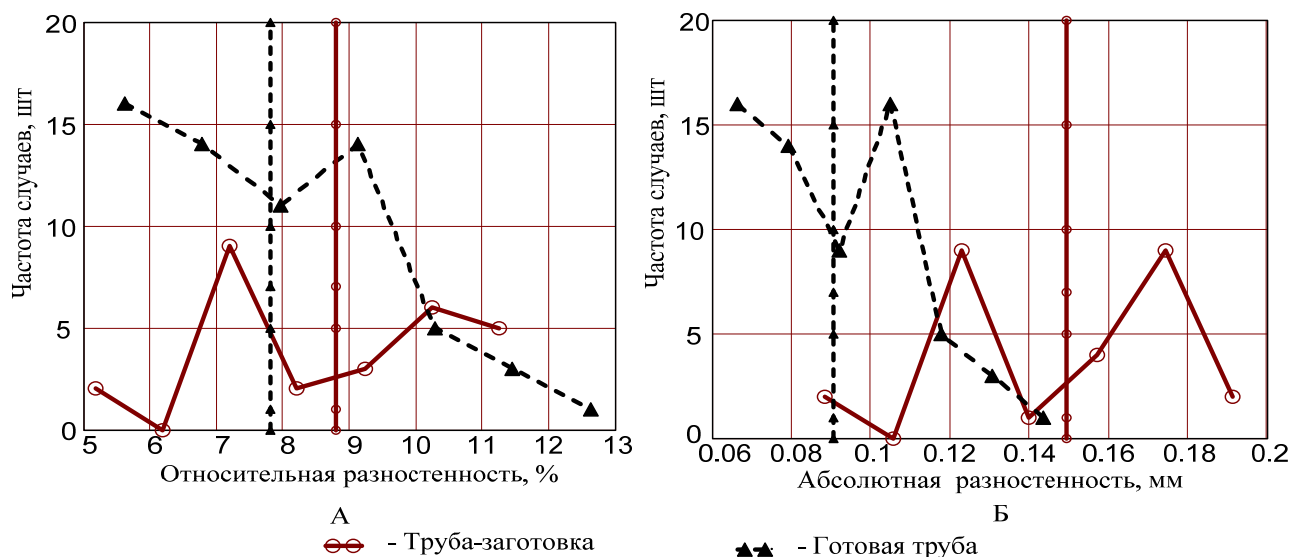


Рис. 4. Полигоны поперечной разностенности труб из сплава Ti-3Al-2.5V, прокатанных на стане ХПТ-32 с клетью повышенной жесткости по маршруту  $16 \times 1,7-10 \times 1,05$  (пакет № 1)

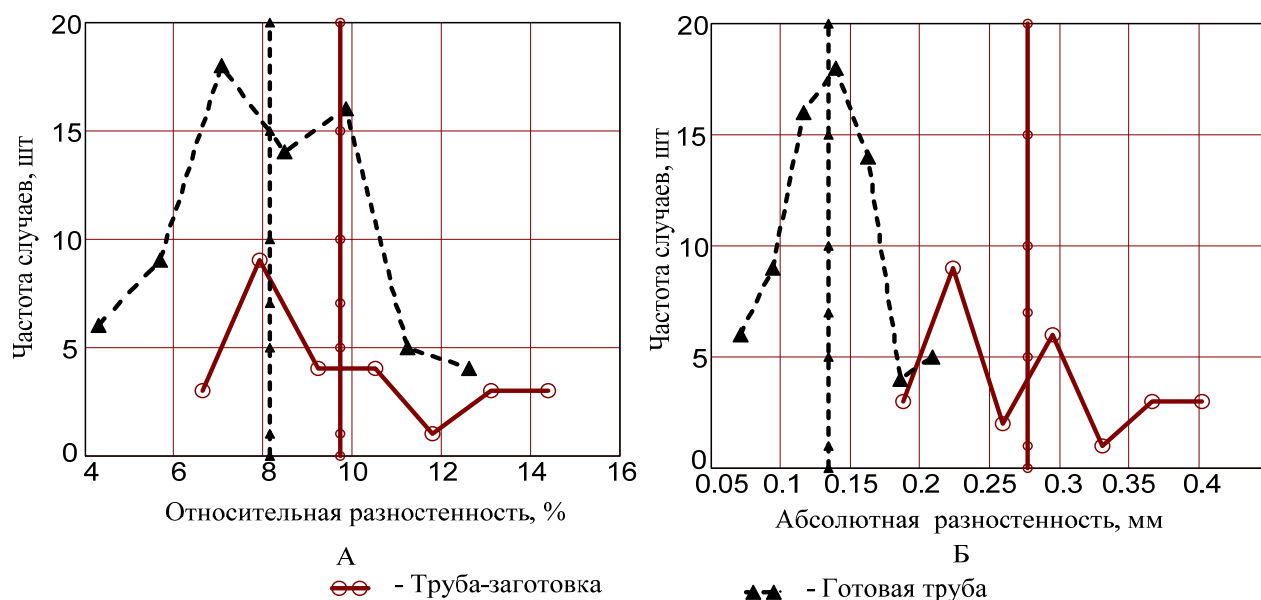


Рис. 5. Полигоны поперечной разностенности труб из сплава Gr2, прокатанных на стане ХПТ-32 с клетью повышенной жесткости по маршруту  $25 \times 2,8-18 \times 1,5$  (пакет № 2)

Результаты прокатки труб первого пакета (сплав Ti-3Al-2.5V,  $16 \times 1,7-10 \times 1,05$ ) показали, что максимальное значение поперечной разностенности в абсолютных единицах уменьшилось с 0,2 до 0,15 мм, то есть станом раскатано 25 % максимальной абсолютной разностенности. С другой стороны максимальная относительная разностенность увеличилась с 11,77 до 13,216 %. Тот же процесс наблюдается и со значениями минимальной поперечной разностенности: абсолютная уменьшилась с 0,08 до 0,06 мм (–25 % в абсолютных единицах); относительная увеличилась с 4,68 до 5,042 %. Эти данные корреспондируются с выводами, указанными в источнике [1]: чем меньше толщина стенки, тем сложнее уменьшить относительную разностенность. Практика показывает, что для каждой толщины стенки трубы существует определенная граница величины уменьшения абсолютной разностенности – ниже ее относительная разностенность растет, а выше падает. Это может быть задачей отдельного теоретического исследования.

Не смотря на выше сказанное, уменьшение абсолютных значений средней разностенности с 0,15 до 0,091 мм (–39,33 % в абсолютных единицах) позволило уменьшить величину средней относительной разностенности с 8,81 до 7,83 % (–0,98 %). Уменьшилось и среднеквадратическое отклонение с 1,83 % (0,031 мм) до 1,78 % (0,02 мм).

Прокатка труб второго пакета (сплав Gr2, маршрут 25 × 2,8–18 × 1,5) показала лучшие результаты. Уменьшение максимальной абсолютной разностенности с 0,42 мм до 0,22 мм (–46,62 % в абсолютных единицах) позволило снизить относительную с 15,1 % до 13,3%. С 0,17 мм (5,996 %), до 0,06 (3,61 %) мм уменьшилась и минимальная разностенность. При этом средняя разностенность уменьшилась с 9,75 % (0,277 мм) до 8,144 % (0,135 мм). Показатели среднеквадратического отклонения изменились с 2,64 % (0,074 мм) до 2,197 (0,037 мм). Обе прокатки показали, что величина снижения абсолютных значений разностенности достаточно велика. Относительная разностенность снизилась не значительно, но этот факт не является парадоксом.

### ВЫВОДЫ

Приведенные исследования показали, что уменьшение угла развалки калибра (при одинаковой ширине) при сохранении всех остальных параметров поперечного сечения ведет к уменьшению поперечной разностенности. При этом уменьшаются как средние значения величины разностенности, так и их максимальные и минимальные значения. Уменьшается величина разброса параметров.

Увеличение жесткости клетки так же ведет в ходе прокатки к уменьшению разностенности. При этом основным фактором снижения разностенности можно считать уменьшение величины наведенной клетью разностенности.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Столетний М. Ф. *Точность труб* / М. Ф. Столетний, Е. Д. Клемперт. – М. : Металлургия, 1975. – 239 с.
2. *Холодная пильгерная прокатка труб* / В. Ф. Фролов, В. Н. Данченко, Я. В. Фролов ; Гос. предпр. «Научно-исследовательский трубный институт им. Я. Е. Осады» ; Нац. металлург. акад. Украины. – Днепропетровск : Пороги, 2005. – 255 с.
3. Нагний А. С. *Развитие метода определения параметров процесса холодной пильгерной прокатки труб с учетом «пружины клетки» и особенностей обратного хода* / А. С. Нагний // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2007. – С. 458–463
4. Попов В. М. *Совершенствование процесса периодической прокатки труб* / В. М. Попов, С. В. Атанасов, Ю. М. Беликов. – Днепропетровск : Дива, 2008. – 191 с.
5. Головченко А. П. *Экспериментальное исследование поперечной разностенности труб при ведении процесса холодной пильгерной прокатки труб с различными сочетаниями выполнения подачи и поворота* / А. П. Головченко, В. У. Григоренко, С. В. Пилипенко // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні : зб. наук. праць. – Краматорськ, 2011. – С. 175–178.
6. Хаустов Г. И. *Исследование точности прокатки холоднокатаных труб* : автореф. дис. .... канд. техн. наук : спец. 324 «Обработка металлов давлением» / Хаустов Г. И. – Днепропетровск, 1971. – 20 с.
7. Хаустов Г. И. *Разработка и внедрение новых способов и технологий для повышения эффективности производства холоднодеформированных труб высокого качества* : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.05 / ВНИТИ. – Днепропетровск, 1989. – 30 с.
8. *Экспериментальное исследование влияния эллипсной и круглой с выпусками по радиусу форм поперечного сечения ручья калибра стана ХПТ на поперечную разностенность труб* / С. В. Пилипенко, В. У. Григоренко, И. В. Маркевич, В. Н. Мищенко // Вісник Сумського державного університету. – 2011. – № 4. – С. 158–164.

Пилипенко С. В. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: 44-08@mail.ru

Статья поступила в редакцию 05.02.2013 г.