

**ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛА ТРУБЫ  
ВДОЛЬ КОНУСА ДЕФОРМАЦИИ СТАНА ХПТ**

**ПИЛИПЕНКО С. В., ШТЕМПЕЛЬ О. П., КУНЧЕВСКИЙ К. А.**

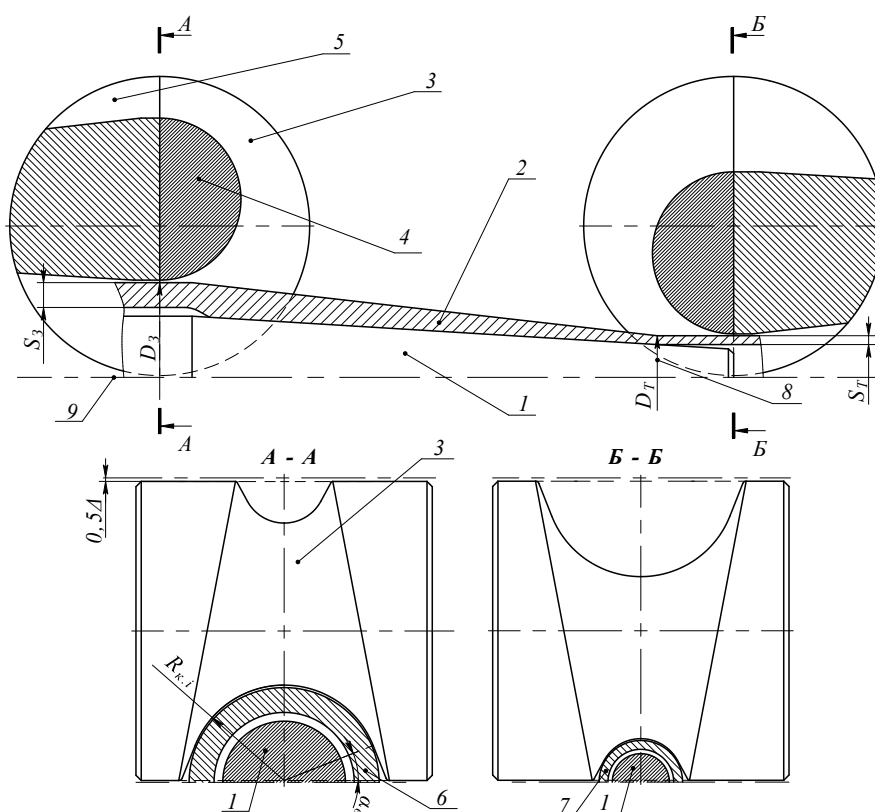
**(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;  
г. Новополоцк, Республика Беларусь)**

**Введение.** В производстве современных транспортных средств широкое применение находят бесшовные трубы из различных марок сталей. К механическим свойствам материалов бесшовных труб, к точности их геометрических параметров предъявляются все более жесткие требования. В связи с этим, производство труб холодной пильгерной прокаткой находит все более широкое применение. Процесс холодного пильгерования труб (процесс ХПТ), – это циклический процесс деформации металла, сочетающий черты прокатки иковки [1]. Процесс ХПТ является высокоэффективным методом прокатки прецизионных труб широкого спектра сталей и сплавов (в том числе титановых и циркониевых). При прокатке труб в станах ХПТ достигаются значительные степени деформации (до 95 % за 1 цикл прокатки). Поскольку прокатка ведется между пределом текучести и пределом прочности, то важной научно-технической задачей при исследовании процесса ХПТ, являются вопросы уточнения характера изменения механических характеристик металла входе деформации труб в этих станах.

**Анализ исследований.** На рис. 1 показана схема прокатки труб в стане типа ХПТ [1]. В переднем положении клетки (пол. А-А, рис. 1) конус деформации смещают на некую величину подачи  $m$ , таким образом, от рабочего хода к рабочему ходу в него поступает недеформированные участки трубы-заготовки. В Положении Б-Б трубу поворачивают, для раскатки утолщений, образовавшихся в выпусках калибра. Таким образом, от цикла к циклу, поданный в конус участок трубы заготовки обжимается, продвигаясь вдоль конуса, получая определенную степень деформации при каждом двойном ходе клетки. Известно, что благодаря особым условиям деформации, создаваемом в процессе ХПТ, материал трубы не только упрочняется, но и наблюдается некий процесс разупрочнения. Это позволяет совершать значительные обжатия по площади поперечного сечения трубы, сравнимые с горячей прокаткой.

Для исследования изменения механических характеристик металла трубы, в ходе прокатки промышленной партии труб из стали 10ГНА, на стане типа ХПТ 160, по маршруту  $140 \times 6,06 \rightarrow 123,08 \times 4,07$  был отобран конус деформации, из которого вырезаны 4 темплета. За исходную точку координат положения сечения в конусе

деформации выбрано сечение пережима. Сечение № 1, это сечение входа трубы-заготовки в конус деформации, лежит на расстоянии 800 мм от пережима. Сечение № 2, лежит на расстоянии 320 мм от пережима. Сечение № 3 – это пережим, сечение № 4 – лежит на расстоянии в -180 мм от пережима, но уже в сторону выхода трубы из конуса деформации, поэтому оно обозначено в отрицательной области измерений.



- 1 – оправка с конической или криволинейной формой рабочей поверхности;  
 2 – конус деформации; 3 – ручей калибров; 4 – сменный калибр; 5 – рабочий валок;  
 6 – труба заготовка, диаметром  $D_3$  и с толщиной стенки в  $S_3$ ;  
 7 – готовая труба заготовка, диаметром  $D_T$  и с толщиной стенки в  $S_T$ ;  
 8 – сечение «пережим»; 9 – линия прокатки;  $\alpha_в$  – угол выпуска ручья калибра;  
 $R_{k,i}$  – радиус калибра в  $i$ -м его сечении;  $\Delta$  – зазор между калибрами стана ХПТ

Рисунок 1. – Схема прокатки труб в стане типа ХПТ  
 (А-А – переднее, Б-Б – заднее положение клетки)

В ходе исследования, были измерены геометрические характеристики трубы в выбранных сечениях и рассчитаны величины обжатия по площади поперечного сечения  $\epsilon$  (см. табл. 1) [1, 2]. Далее произведены замеры значений микротвёрдости металла (по шкале Викерса), в глубь толщины стенки (рис. 2). Определено, что приповерхностные сечения, входе деформации, получают некую величину разупрочнения, по отношению к глубинным (по аналогии с процессами, протекаемыми при дрессировке холоднокатанной полосы).

Таблица 1. – Изменение геометрических и деформационных характеристик трубы вдоль конуса деформации.

| $L$<br>по оправке               | № сеч    | $D$ , мм       | $S$ , мм     | $F$ , мм <sup>2</sup> | $\epsilon$ , % |
|---------------------------------|----------|----------------|--------------|-----------------------|----------------|
| –180                            | 4        | 123,080        | 4,70         | 1747,90               | 31,710         |
| <b>0</b><br><b>(«перезжим»)</b> | <b>3</b> | <b>123,140</b> | <b>4,710</b> | <b>1752,70</b>        | <b>31,522</b>  |
| 320                             | 2        | 125,340        | 4,990        | 1886,20               | 26,307         |
| 800                             | 1        | 140,60         | 6,060        | 2559,50               | 0              |

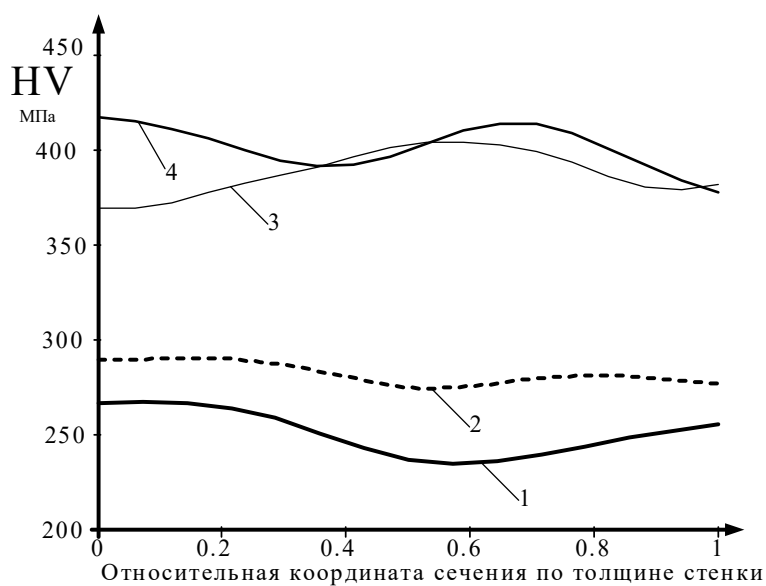


Рисунок 2. – 1 – сеч. № 1 (труба-заготовка); 2 – сеч. № 2 (середина зоны обжатия, конуса деформации); 3 – сеч. № 3 (перезжим); 4 – сеч. № 4 (сечение выхода металла из конуса); сечение 0 по оси абсцисс соответствует наружному диаметру трубы

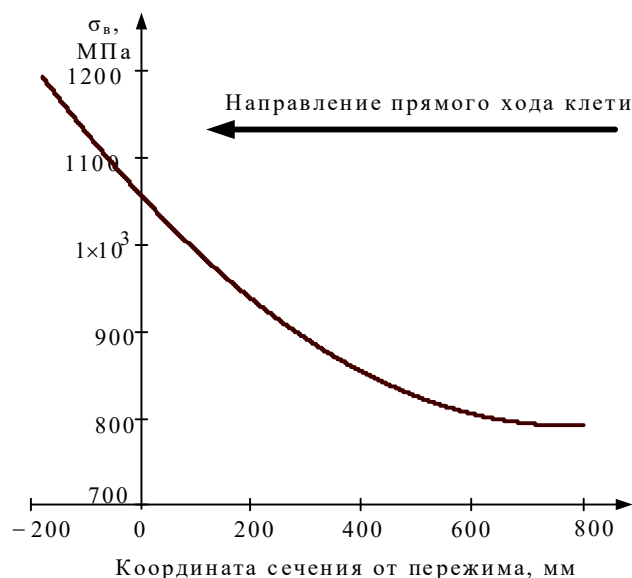
Как и ожидалось, по мере прохождения трубы вдоль конуса деформации средняя твёрдость металла трубы увеличивается:

- сеч. № 1 – 258,94 HV ( $\approx 246$  HB);
- сеч. № 2 – 277,90 HV ( $\approx 261$  HB);
- сеч. № 3 – 388,32 HV ( $\approx 343$  HB);
- сеч. № 4 – 401,03 HV ( $\approx 356$  HB).

Далее, сделан перерасчет значений твёрдости в значения предела прочности металла трубы, по следующей эмпирической зависимости [3]:

$$\sigma_b = 9,81 \cdot (0,000 \cdot 2HB^2 + 0,2161 \cdot HB + 16,164). \quad (1)$$

После интерполяции значений предела прочности получен график распределения  $\sigma_b$  металла трубы вдоль конуса деформации, относительно сечения перережима (рис. 3).



**Рисунок 3. – График распределения предела прочности металла трубы вдоль конуса деформации стана ХПТ (сечение 0 по оси абсцисс – пережим конуса деформации)**

**Заключение.** В ходе проведённого исследования были изучены изменения механических свойств металла трубы из стали 10ГНА, в ходе холодного пильгерования. Получена графическая зависимость распределения предела прочности металла трубы вдоль конуса деформации стана ХПТ, показывающая непрерывный, почти экспоненциальный рост предела прочности вдоль всего конуса, даже после сечения пережима. То есть, и на участке калибровки совершается какая-то часть от общей деформации. Полученные результаты позволяют глубже понять процессы, происходящие в процессе холодного пильгерования трубы и могут быть использованы для оптимизации режимов прокатки и повышения качества готовой продукции.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пилипенко С. В. Теоретические основы холодной пильгерной прокатки труб : монография. – Новополюк: Полоцкий гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. – 288 с.
2. Кунчевский К. А. Исследование микроструктуры и механических свойств образцов труб, полученных путем холодной пильгерной прокатки // Путь в науку. Прикладные науки. промышленность : электрон. сб. науч. тр. – Новополюк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2025. – Вып. 60(130) – С. 171–174
3. Сандомирский С. Г. Обобщенные корреляционные зависимости между временным сопротивлением сталей и их твердостью. Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2017, – № 83(11). – С. 52–57. – <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2017-83-11-52-57>.