

УДК 621.774.16

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАЗЦОВ ТРУБ, ПОЛУЧЕННЫХ ПУТЕМ ХОЛОДНОЙ ПИЛЬГЕРНОЙ ПРОКАТКИ

**К. А. КУНЧЕВСКИЙ**

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

*Операции пластического формоизменения исходной заготовки в готовую круглую или профильную трубу специального назначения производят в один или несколько циклов в зависимости от ее геометрических размеров, свойств металла трубы, способа деформации и требований к качеству готовых труб.*

**Цель работы:** Изучение влияния процессов холодной пильгерной прокатки на изменение микроструктуры и механических свойств труб, включая распределение геометрических параметров, твердости и степень деформации вдоль конуса прокатки, с целью выявления закономерностей упрочнения материала и оптимизации технологических режимов для повышения качества готовой продукции.

**Введение:** холодная пильгерная прокатка труб (ХПТ) представляет собой высокоэффективный метод производства прецизионных труб из стали и сплавов [1-2]. Особенности технологии ХПТ заключаются в чередовании поступательной подачи и поворота заготовки с деформацией в подвижной клети с валками переменного калибра, работающей на неподвижной конической оправке. Такой подход обеспечивает значительные степени деформации (до 80–95% за проход) и получение труб с высокой точностью и качеством поверхности [3-4].

**Анализ исследований:** особенность процесса ХПТ состоит в том, что клеть стана совершает возвратно-поступательное движение от двустороннего кривошипно-шатунного привода. В клети установлены валки с калибрами, имеющими переменный радиус ручья. Процесс прокатки на станах ХПТ имеет периодический характер, так как труба прокатывается отдельными участками по ее длине при возвратно-поступательном движении клети [4-5]. Процесс прокатки трубы осуществляется на неподвижной конической оправке калибрами, закрепленными в вырезах валков и имеющими по окружности ручей переменного сечения. Исходный размер ручья соответствует наружному диаметру заготовки  $R_3$ , конечный размер — наружному диаметру готовой трубы  $R_0$ . Перед прямым ходом клети в конус деформации подается участок трубы длиной  $t$  (величина подачи), перед обратным ходом клети конус деформации поворачивают, чтобы раскатать утолщение трубы выпусках калибра. Постепенно, от двойного хода к двойному ходу клети, каждое сечение объема подачи подвергается сперва только редуцированию (в зоне редуцирования конуса), потом как редуцированию так и обжатию стенки (в зоне калибровки), далее идет калибровка по толщине стенки (в зоне предотделки), так и калибровка по диаметру (зона калибровки). Изменяя величины подачи-поворота, длины зон. Частоту двойных ходов, конусность оправки и ее тип (конусная или с криволинейной образующей) имеется более широкий спектр возможностей управления процессом деформации трубы. Чем при волочении трубы.

**Основной материал:** для анализа изменения микроструктуры и механических свойств материала трубы выбран маршрут прокатки труб на стане китайского производства (аналог стана ХПТ 160) - 140x6,06 – 123,08x4,07 (10 ГНА). В ходе прокатки промышленной партии труб был выкатан конус деформации, разрезан на 29 темплетов одинаковой длины. Для анализа отобраны:

- Сечение №1, соответствует сечению входа трубы в конус (сечение трубы заготовки).
- Сечение №16, на расстоянии 320 мм от пережима.
- Сечение №24, сечение пережима.
- Сечение №29, сечение готовой трубы.

Такой выбор обеспечивает более объективную выборку реальных микроструктурных состояний в трубе.

Все 29 сечений были обмеряны с регистрацией среднего значения диаметра (D) и толщины стенки (S). Рассчитана площадь поперечного сечения (F) и обжатие по площади поперечного сечения ( $\varepsilon$ ) каждого из них (табл.1)

Наибольшие значения относительной деформации наблюдаются в диапазоне сечений 22–25 (рис. 3), что соответствует зоне максимального упрочнения и изменения микроструктуры, выявленной ранее.

В каждом из отобранных сечений, замерами значений твердости металла по шкале Викерса, был выявлен характер изменения микротвердости по толщине стенки трубы (рис. 3, сечение 0 соответствует наружному диаметру трубы).

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

L по опр.	№ сеч	D, мм	S, мм	F, мм <sup>2</sup>	ε, %
<b>180</b>	<b>29</b>	<b>123,08</b>	<b>4,70</b>	<b>1747,9</b>	<b>31,710</b>
Зона калибровки и выпуска	28	123,08	4,70	1747,9	31,710
	27	123,08	4,70	1747,9	31,710
	26	123,08	4,70	1747,9	31,710
	25	123,08	4,70	1747,9	31,710
<b>0</b>	<b>24</b>	<b>123,14</b>	<b>4,71</b>	<b>1752,7</b>	<b>31,522</b>
40	23	123,17	4,73	1760,7	31,208
80	22	123,26	4,80	1786,3	30,210
120	21	123,49	4,81	1793,7	29,921
160	20	123,74	4,83	1805,6	29,458
200	19	124,03	4,82	1806,8	29,408
240	18	124,50	4,87	1829,7	28,515
280	17	125,12	4,93	1860,7	27,305
<b>320</b>	<b>16</b>	<b>125,34</b>	<b>4,99</b>	<b>1886,2</b>	<b>26,308</b>
360	15	126,33	5,09	1940,3	24,194
400	14	126,53	5,09	1941,5	24,147
440	13	126,73	5,30	2021,9	21,007
480	12	127,89	5,50	2115,7	17,340
520	11	128,36	5,57	2147,0	16,118
560	10	129,29	5,68	2204,8	13,858
600	9	130,28	5,73	2243,3	12,355
640	8	130,83	6,05	2372,8	7,2941
680	7	131,87	6,08	2404,0	6,0767
720	6	133,12	6,13	2446,9	4,4014
760	5	134,45	6,04	2438,4	4,7342
800	4	138,49	6,10	2537,1	0,8754
Труба - заготовка	3	140,55	6,07	2558,8	0,0288
	2	140,60	6,08	2559,5	0
	<b>1</b>	<b>140,60</b>	<b>6,06</b>	<b>2559,5</b>	<b>0</b>

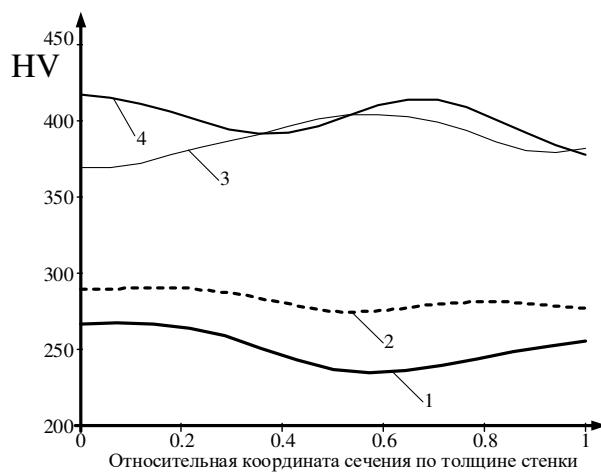


Рисунок 2. – 1- сеч, 2; 2- сеч 16, 3- сеч. 24, 3- сеч 30

Как видно из рис. 2 от сечения к сечению наблюдается изменение характера распределения микро твердости по глубине сечения стенки трубы. Если в начале конуса деформации (рис. 2 сеч. 1) микро твердость серединных слоев стенки трубы меньше, чем микро твердость наружных сечений, то в сечениях 3, 4 которые соответствуют началу и концу участка калибровки серединные слои тверже наружных. Из сечения в сечение наблюдается увеличение среднего значения твердости трубы:

- Сечение №1, среднее 258,94 HV
- Сечение №16, среднее 277,90 HV
- Сечение №24, среднее 388,32 HV
- Сечение №29, среднее 401,03 HV

**Характеристика структуры по сечениям:** изменение микроструктуры металла от сечения к сечению показали следующие

Сечение 1 (рис.3, А) как писалось выше соответствует микроструктуре горячей катанной трубы заготовки. Наблюдаются относительно крупные структурные составляющие косвенно свидетельствующие о большой концентрации дефектов кристаллической решетки. В наблюдаемой микроструктуре должно быть большая доля белой составляющей, которая соответствует ферриту, но поскольку в феррите присутствует большое количество дефектов кристаллической решетки, то эти микроструктуры вытравились в темный цвет. В целом структура по градиенту не равномерная, наблюдаются крупные темные и светлые участки.

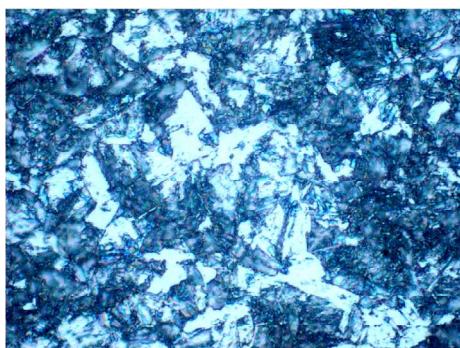


Рисунок 3. – Сечение 1

В сечениях 16, 24, 30 (рис. 4) материал получает деформацию 26,31% до 31,71%, что не приводит к существенным изменениям в микроструктуре соответствующих сечениях. Однако произошло измельчение структурных составляющих и их более равномерное распределение по сравнению с сечением 1. Между сечениями 24 и 30 происходит калибровка трубы по геометрическим параметрам без значительной размерной деформации. Протяженность этой зоны 180 мм, диаметр поперечного сечения ручья калибра постоянный, но в этот участок (из-за подачи и последующей вытяжки трубы) все же поступают более утолщенные сечения конуса. Кроме этого раскатываются утолщения в выпусках калибра, происходит выравнивание напряжений внутри материала трубы. Таким образом в зоне калибровки все же происходит деформация о чем свидетельствует изменение микроструктуры в сечениях от сечения 24 до сечения 30. Происходит дальнейшее измельчение структурных составляющих и увеличения плотности дефектов по всему объему металла.

Описанные изменения микротвердости и микроструктуры обусловлены характером работы валков и конической оправки в стане ХПТ. Между сечениями 1 и 16 происходит львиная доля деформации, однако, локальный их характер приводит к нагреву металла в мгновенный момент деформации. Это вместе с большим количеством двойных ходов клети в минуту (130 ходов в мин в данном случае) приводит к нагреву металла до температур, приводящих к разупрочнению металлов. Поэтому твердость в сечении 2 существенно ниже, чем в сечениях 3 и 4 (рис. 3). Далее по конусу обжатие в мгновенном очаге деформации в любом его положении в доль дальнейших участков конуса сравнимо с процессом дрессировки тонколистового металла. В ходе дрессировки, как известно, наблюдается характерное изменение микроструктуры в глубь листа с образованием более и менее наклепанных слоев. Именно это наблюдается на графике изменения микро твердости (изменение волнистости кривых от 2 до 3 и 4). Между сечениями 16 и 24 происходит больший наклеп металла, чем между 2 и 16, хотя разница в деформации в 26,31% (сечение 16) и 31,5% (сечение 24) не является существенной. Однако наклеп металла (увеличение твердости) значительный на этом участке. Можно сделать вывод, что разупрочнение металла на участке сечение 16, сечение 24 происходит в меньшей мере, чем в начале конуса деформации.

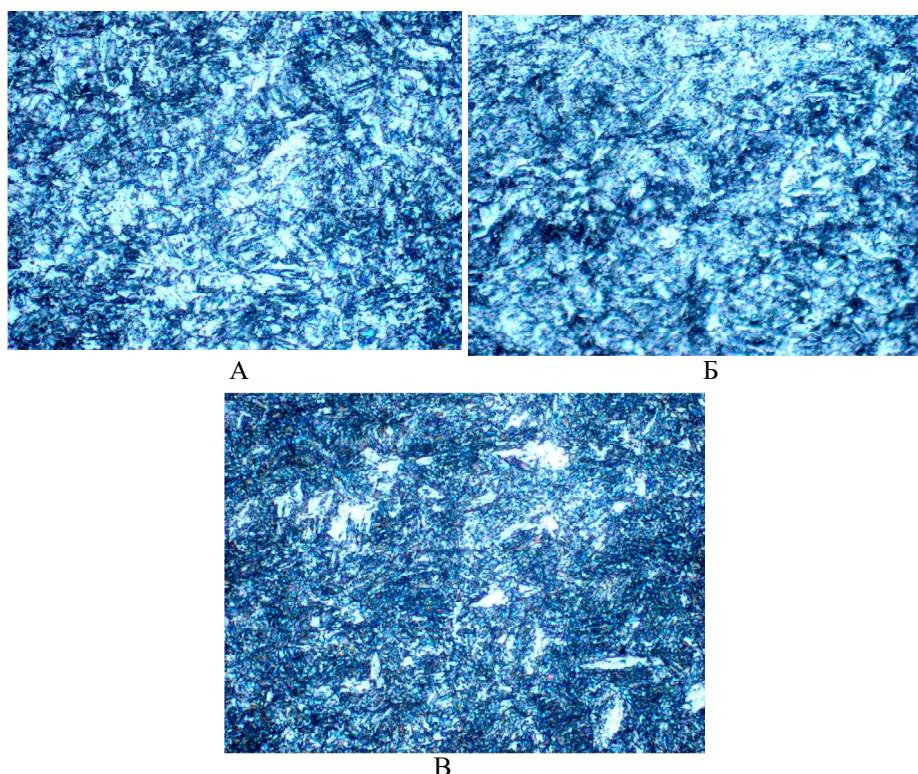


Рисунок 4. – А- сеч. 16; Б- сеч 24, В- сеч. 30

Небольшая разница в деформации между сечениями 24 и 30 (31,5% и 31,7%). Однако средняя твердость металла увеличивается с 388,32 HV до 401,03 HV.

Таким образом, совмещение данных геометрического и микроструктурного анализа позволяет более полно охарактеризовать процесс ХПТ: идентифицировать критические зоны интенсивной деформации, зоны стабилизации геометрии и установить соответствие между внешней формой трубы и ее внутренней структурой.

**Заключение.** В ходе проведенного исследования были изучены изменения микроструктуры и механических свойств труб, полученных методом холодной пильгерной прокатки. Анализ геометрических параметров вдоль конуса деформации показал значительное изменение диаметра, толщины стенки и степени деформации, особенно в зоне сечений 22–25, что соответствует участку максимального упрочнения. Измерения микро твердости подтвердили закономерный рост твердости от начального сечения заготовки к готовой трубе, достигая максимальных значений в зоне калибровки. Микроструктурный анализ выявил измельчение структурных составляющих и повышение однородности структуры, особенно в финальных сечениях. Установлена связь между интенсивностью локальной деформации и структурными изменениями материала. Полученные результаты позволяют глубже понять процессы, происходящие при ХПТ, и могут быть использованы для оптимизации режимов прокатки и повышения качества готовой продукции.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Столетний М.Ф. Точность труб / М.Ф. Столетний, Е.Д. Клемперт – М.: Металлургия 1975 - 239 с.
2. Орро П.И. Производство стальных тонкостенных труб: [Монография] / П.И. Орро, Я.Е. Осада. - М. Харьков: Металлургиздат, 1951. - 416 с.
3. Фролов В.Ф. 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.
4. Пилипенко С. В. Теоретические основы холодной пильгерной прокатки труб / С. В. Пилипенко. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т им. Евфросинии Полоцкой, 2022. – 288 с.
5. Grigorenko V.U., Pilipenko S.V. VARIATION IN WALL THICKNESS OF COLD-ROLLED PIPE // Steel in Translation. 2008. Т. 38. № 9. С. 775-776.