

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ ТРУБ ПРИ РЕДУЦИРОВАНИИ

*К.Ю. Яковлева, Б.В. Баричко, В.Н. Кузнецов*

Приведены результаты экспериментального исследования динамики изменения толщины стенки труб при прокатке, волочении в монолитной и роликовой волоках. Показано, что при увеличении степени деформации более интенсивный прирост толщины стенки трубы наблюдается в процессах прокатки и волочения в роликовых волоках, что делает перспективным их использование.

*Ключевые слова:* холоднодеформированные трубы, толстостенные трубы, волочение труб, толщина стенки трубы, качество внутренней поверхности трубы.

Существующая технология изготовления холоднодеформированных толстостенных труб малого диаметра из коррозионно-стойких сталей предусматривает применение процессов холодной прокатки на станах ХПТ и последующего безправочного волочения в монолитных волоках. Известно, что получение труб малого диаметра холодной прокаткой сопряжено с рядом трудностей, обусловленных снижением жесткости системы «стержень-оправка». Поэтому для получения таких труб используют процесс волочения, преимущественно безправочного. Характер изменения толщины стенки трубы при безправочном волочении определяется соотношением толщины стенки  $S$  и наружного диаметра  $D$ , а абсолютная величина изменения не превышает 0,05–0,08 мм. При этом утолщение стенки наблюдается при соотношении  $S/D < 0,165$ –0,20 в зависимости от наружного диаметра заготовки [1–3]. Для данных соотношений размеров  $S/D$  коэффициент вытяжки  $\mu$  при волочении труб из коррозионно-стойкой стали не превышает значения 1,30 [4], что предопределяет многоцикличность известной технологии и требует привлечения новых способов деформации.

Целью работы является сравнительное экспериментальное исследование динамики изменения толщины стенки труб в процессах редуцирования прокаткой, волочением в монолитной и роликовой волоках.

В качестве заготовок использовали холоднодеформированные трубы: размерами 12,0×2,0 мм ( $S/D = 0,176$ ), 10,0×2,10 мм ( $S/D = 0,216$ ) из стали 08X14МФ; размерами 8,0×1,0 мм ( $S/D = 0,127$ ) из стали 08X18Н10Т. Все трубы были в отожженном состоянии.

Волочение в монолитных волоках осуществляли на цепном волочильном стане усилием 30 кН. Для роликового волочения использовали волоку со смещенными парами роликов ВР–2/2.180 [5]. Волочение в роликовой волоке проводили с использованием системы калибров «овал–круг». Редуцирование труб прокаткой проводили по схеме калибровки «овал–овал» в двухвалковой клети с валками диаметром 110 мм.

На каждом этапе деформации отбирали образцы (5 шт. по каждому варианту исследования) для измерения наружного диаметра, толщины стенки и шероховатости внутренней поверхности. Измерение геометрических размеров и шероховатости поверхности труб выполняли с использованием электронного штангенциркуля ШЦ–II, электронного точечного микрометра, профилометра SurfTest SJ-201. Все инструменты и приборы прошли необходимую метрологическую поверку.

Параметры холодной деформации труб приведены в таблице.

На рис. 1 представлены графики зависимости величины относительного увеличения толщины стенки от степени деформации  $\epsilon$ .

Анализ графиков на рис. 1 показывает, что при прокатке и волочении в роликовой волоке по сравнению с процессом волочения в монолитной волоке наблюдается более интенсивное изменение толщины стенки трубы. Это, по мнению авторов, обусловлено различием в схеме напряженного состояния металла: при прокатке и роликовом волочении растягивающие напряжения в очаге деформации имеют меньшие значения. Расположение кривой изменения толщины стенки при роликовом волочении ниже кривой изменения толщины стенки при прокатке обусловлено несколько большими растягивающими напряжениями при роликовом волочении ввиду осевого приложения усилия деформации.

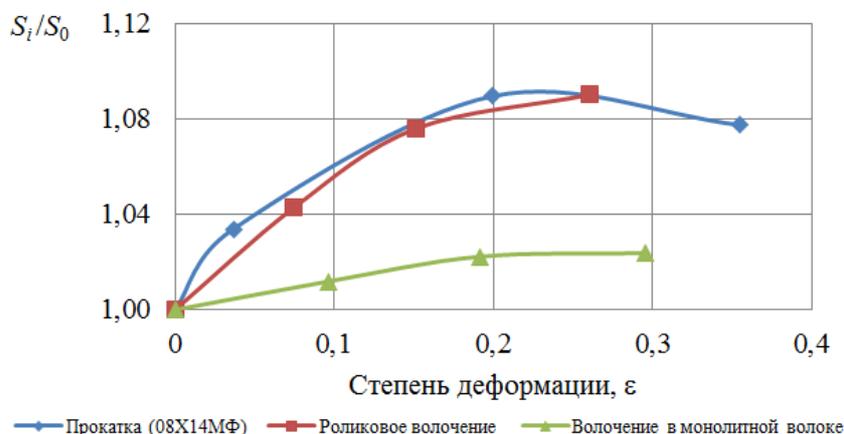
Наблюдаемый при прокатке экстремум функции изменения толщины стенки от степени деформации или относительного обжатия по наружному диаметру соответствует значению  $S/D = 0,30$ . По аналогии с горячим редуцированием прокаткой, где уменьшение толщины стенки наблюдается при  $S/D > 0,35$  [6], можно предположить, что для холодного редуцирования прокаткой характерно уменьшение толщины стенки при соотношении  $S/D > 0,30$ .

Так как одним из факторов, определяющих характер изменения толщины стенки, является соотношение растягивающих и радиальных напряжений, которое в свою очередь зависит от парамет-

**Параметры холодной деформации труб\***

№ прохода	Размеры труб, мм		$S_i/D_i$	$S_i/S_0$	$D_i/D_0$	$\mu$	$\varepsilon$
	$D$	$S$					
Редуцирование прокаткой (трубы из стали марки 08X14МФ)							
0	9,98	2,157	0,216	1,0	1,0	1,0	0
1	9,52	2,230	0,234	1,034	0,954	1,038	0,04
2	8,10	2,350	0,290	1,089	0,812	1,249	0,20
3	7,01	2,324	0,332	1,077	0,702	1,549	0,35
Редуцирование прокаткой (трубы из стали марки 08X18Н10Т)							
0	8,06	1,020	0,127	1,0	1,0	1,0	0
1	7,03	1,130	0,161	1,108	0,872	1,077	0,07
2	6,17	1,225	0,199	1,201	0,766	1,185	0,16
3	5,21	1,310	0,251	1,284	0,646	1,406	0,29
Редуцирование волочением в роликовой волоке (трубы из стали марки 08X14МФ)							
0	12,00	2,11	0,176	1,0	1,0	1,0	0
1	10,98	2,20	0,200	1,043	0,915	1,080	0,07
2	10,08	2,27	0,225	1,076	0,840	1,178	0,15
3	9,01	2,30	0,201	1,090	0,751	1,352	0,26
Редуцирование волочением в монолитной волоке (трубы из стали марки 08X14МФ)							
0	12,00	2,110	0,176	1,0	1,0	1,0	0
1	10,97	2,135	0,195	1,012	0,914	1,106	0,10
2	9,98	2,157	0,216	1,022	0,832	1,118	0,19
3	8,97	2,160	0,241	1,024	0,748	1,147	0,30

\*  $D_i, S_i$  – соответственно наружный диаметр и толщина стенки трубы в  $i$ -м проходе.



**Рис. 1. Зависимость величины относительного увеличения толщины стенки труб от степени деформации**

ра  $S/D$ , то важным является исследование влияния соотношения  $S/D$  на положение экстремума функции изменения толщины стенки трубы в процессе редуцирования. Согласно данным работы [6], при меньших соотношениях  $S/D$  максимальное значение толщины стенки трубы наблюдается при больших деформациях. Данный факт был исследован на примере процесса редуцирования прокаткой труб размерами  $8,0 \times 1,0$  мм ( $S/D = 0,127$ ) стали 08X18Н10Т в сравнении с данными по прокатке труб размерами  $10,0 \times 2,10$  мм ( $S/D = 0,216$ ) стали 08X14МФ. Результаты измерений приведены на рис. 2.

Критическая степень деформации, при которой наблюдалось максимальное значение толщины стенки при прокатке труб с соотношением

$S/D = 0,216$ , составила 0,23. При прокатке труб из стали 08X18Н10Т экстремум нарастания толщины стенки не достигнут, так как соотношение размеров трубы  $S/D$  даже при максимальной степени деформации не превысило значения 0,3. Важным обстоятельством является то, что динамика увеличения толщины стенки при редуцировании труб прокаткой находится в обратной зависимости от соотношения размеров  $S/D$  исходной трубы, что демонстрируют графики, приведенные на рис. 2, а.

Анализ кривых на рис. 2, б показывает также, что изменение соотношения  $S/D$  в процессе прокатки труб из стали марки 08X18Н10Т и труб из стали марки 08X14МФ имеет сходный качественный характер.

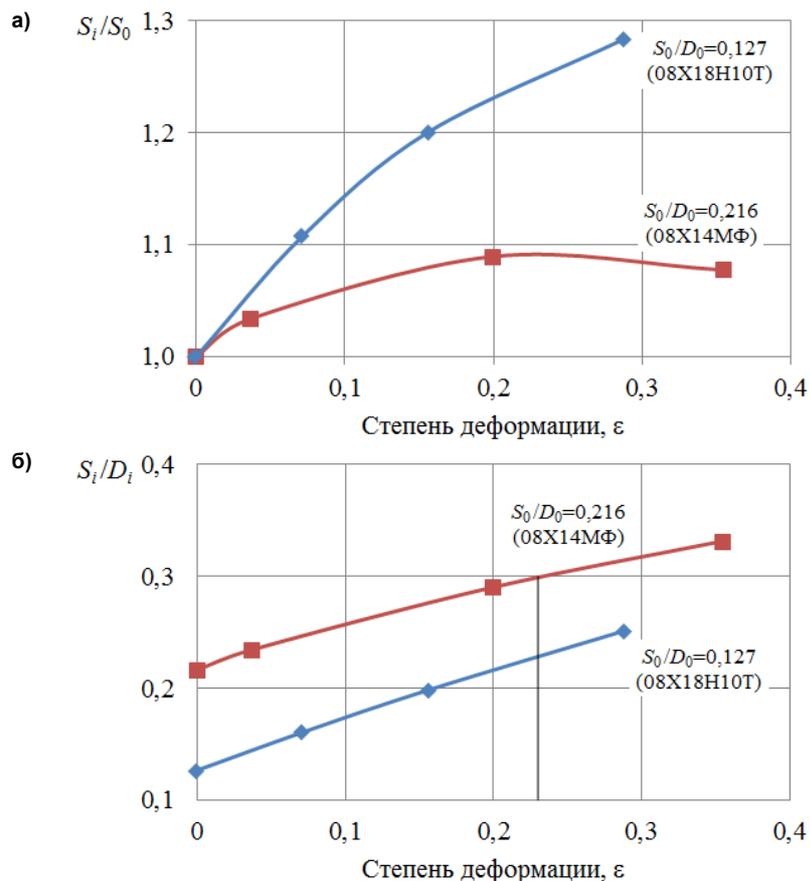


Рис. 2. Изменение толщины стенки (а) и соотношения  $S/D$  (б) в зависимости от степени деформации при прокатке труб с различным исходным соотношением  $S/D$

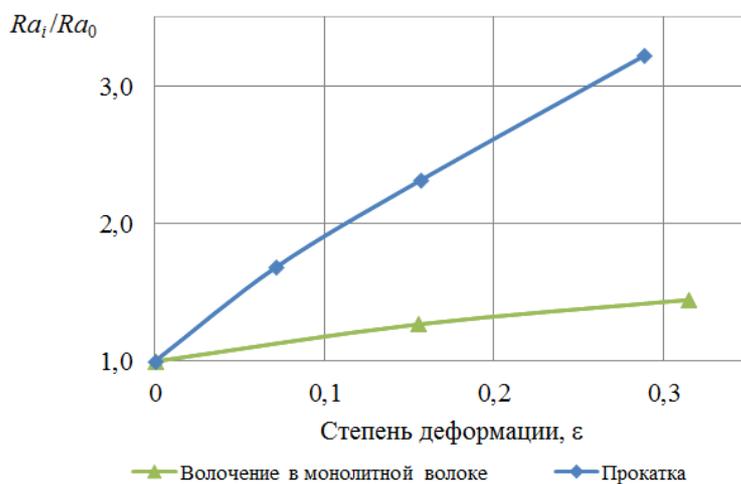


Рис. 3. Зависимость относительной величины шероховатости внутренней поверхности труб от степени деформации

В процессе редуцирования различными способами также была проведена оценка шероховатости внутренней поверхности труб по величине среднеарифметического отклонения высоты микронеровностей  $Ra$ . На рис. 3 приведены графики зависимости относительной величины параметра  $Ra$  от степени деформации при редуцировании труб прокаткой и волочением в монолитных волокнах ( $Ra_i$ ,  $Ra_0$  – соответственно параметры шерохо-

ватости внутренней поверхности труб в  $i$ -м проходе и на исходной трубе).

Анализ кривых на рис. 3 показывает, что в обоих случаях (прокатка, волочение) увеличение степени деформации при редуцировании ведет к увеличению параметра  $Ra$ , то есть ухудшает качество внутренней поверхности труб. Динамика изменения (увеличения) параметра шероховатости при увеличении степени деформации в случае ре-

дуцирования труб прокаткой в двухвалковых калибрах значительно (примерно в два раза) превышает аналогичный показатель в процессе волочения в монолитных волоках.

Следует отметить также, что динамика изменения параметра шероховатости внутренней поверхности согласуется с приведенным выше описанием динамики изменения толщины стенки для рассмотренных способов редуцирования.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. Динамика изменения толщины стенки труб для рассмотренных способов холодного редуцирования однотипна – интенсивное утолщение с увеличением степени деформации, последующее замедление прироста толщины стенки с достижением некоторого максимального значения при определенном соотношении размеров трубы  $S/D$  и последующее снижение прироста толщины стенки.

2. Динамика изменения толщины стенки труб находится в обратной зависимости от соотношения размеров исходной трубы  $S/D$ .

3. Наибольшая динамика увеличения толщины стенки наблюдается в процессах прокатки и волочения в роликовых волоках.

4. Увеличение степени деформации при редуцировании прокаткой и волочением в монолитных волоках ведет к ухудшению состояния внутренней поверхности труб, при этом рост параметра шероховатости  $Ra$  при прокатке происходит более интенсивно, чем при волочении. Учитывая сделанные выводы и характер изменения толщины стенки в процессе деформации, можно утверждать, что для волочения труб в роликовых волоках измене-

ние параметра  $Ra$  будет менее интенсивным, чем для прокатки, и более интенсивным в сравнении с монолитным волочением.

Полученная информация о закономерностях процесса холодного редуцирования будет полезна при проектировании маршрутов изготовления холоднодеформированных труб из коррозионно-стойких сталей. При этом перспективным для набора толщин стенки труб и сокращения количества проходов является использование процесса волочения в роликовых волоках.

#### *Литература*

1. Биск, М.Б. *Холодная деформация стальных труб. В 2 ч. Ч.1: Подготовка к деформации и волочение* / М.Б. Биск, И.А. Грехов, В.Б. Славин. – Свердловск: Средне-Урал. кн. изд-во, 1976. – 232 с.

2. Савин, Г.А. *Волочение труб* / Г.А. Савин. – М.: *Металлургия*, 1993. – 336 с.

3. Швейкин, В.В. *Технология холодной прокатки и редуцирования труб: учеб. пособие* / В.В. Швейкин. – Свердловск: Изд-во УПИ им. С.М. Кирова, 1983. – 100 с.

4. *Технология и оборудование трубного производства* / В.Я. Осадчий, А.С. Вавилин, В.Г. Зимовец и др.; под ред. В.Я. Осадчего. – М.: *Интернет Инжиниринг*, 2007. – 560 с.

5. Баричко, Б.В. *Основы технологических процессов ОМД: конспект лекций* / Б.В. Баричко, Ф.С. Дубинский, В.И. Крайнов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 131 с.

6. Потапов, И.Н. *Теория трубного производства: учеб. для вузов* / И.Н. Потапов, А.П. Коликов, В.М. Друян. – М.: *Металлургия*, 1991. – 424 с.

**Яковлева Ксения Юрьевна**, младший научный сотрудник, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (г. Челябинск); yakovleva@rosniti.ru.

**Баричко Борис Владимирович**, заместитель начальника отдела бесшовных труб, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (г. Челябинск); barichko@rosniti.ru.

**Кузнецов Владимир Николаевич**, начальник лаборатории холодной деформации центральной заводской лаборатории, ОАО «Синарский трубный завод» (г. Каменск-Уральский); czl@sintz.ru.

*Поступила в редакцию 24 марта 2014 г.*

## STUDY OF DYNAMIC CHANGES OF THE PIPE WALL THICKNESS IN THE REDUCTION PROCESS

**K.Yu. Yakovleva**, *The Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI), Chelyabinsk, Russian Federation, yakovleva@rosniti.ru,*

**B.V. Barichko**, *The Russian Research Institute of the Tube and Pipe Industries (RosNITI), Chelyabinsk, Russian Federation, barichko@rosniti.ru,*

**V.N. Kuznetsov**, *JSC "Sinarsky Pipe Plant", Kamensk-Uralsky, Russian Federation, czl@sintz.ru*

The results of the experimental study of dynamic changes for the pipe wall thickness during rolling, drawing both in single-piece and roller dies are described. The results show that with the deformation increasing the faster growth of the pipe wall thickness is observed in rolling and drawing with the roller dies. The conclusion can be drawn that the usage of roller dies is the most promising one.

*Keywords: cold-formed pipes, thick-wall pipes, pipe drawing, pipe wall thickness, quality of the inner surface of pipe.*

### References

1. Bisk M.B., Grekhov I.A., Slavin V.B. *Kholodnaya deformatsiya stal'nykh trub. Podgotovka k deformatsii i volochenie* [Cold Deformation of Steel Pipes. Preparation for Deformation and Drawing]. Sverdlovsk, Middle Ural Book Publ., 1976, vol. 1. 232 p.
2. Savin G.A. *Volochenie trub* [Pipe Drawing]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1993. 336 p.
3. Shveykin V.V. *Tekhnologiya kholodnoy prokatki i redutsirovaniya trub* [Technology of Cold Rolling and Reducing of Pipes]. Sverdlovsk, Ural Polytechn. Inst. Publ., 1983. 100 p.
4. Osadchiy V.Ya., Vavilin A.S., Zimovets V.G. et al. *Tekhnologiya i obrudovanie trubnogo proizvodstva* [Technology and Equipment Pipe Production]. Osadchiy V.Ya. (Ed.). Moscow, Intermet Engineering Publ., 2007. 560 p.
5. Barichko B.V., Dubinskiy F.S., Kraynov V.I. *Osnovy tekhnologicheskikh protsessov OMD* [Basics of Metal Forming Processes]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 2008. 131 p.
6. Potapov I.N., Kolikov A.P., Druyan V.M. *Teoriya trubnogo proizvodstva* [Theory of Pipe Production]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1991. 424 p.

*Received 24 March 2014*