

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ГИБКЕ ТРУБ С РАСКАТЫВАНИЕМ

А.П. Дементьев, К.А. Миронов, А.В. Козлов

Производство криволинейных элементов трубопроводов – достаточно сложная и актуальная задача в современной промышленности.

В современных производственных условиях практически невозможно осуществить качественную гибку труб диаметром более 60 мм в холодном состоянии на малые радиусы, поскольку она сопровождается нежелатель-

ными явлениями для последующей эксплуатации: утонением стенки на внешней частигиба, овализацией (сплющивание) поперечного сечения в гйбе, образованием гофр и изломов на внутренней частигиба, что обусловлено большими усилиями изгиба, поэтому не удастся получить радиусыгиба менее 3,5...4,5 диаметра трубы. Трубы диаметром более 60 мм в основном изгибают с нагревом, что приводит к большим энергетическим затратам и требует применения специализированного оборудования.

В то же время, при гибке труб с раскатыванием [1] именно пластическая деформация трубы позволяет существенно снизить изгибающие усилия. Сущность гибки труб заключается в следующем. При вращении раскатника, заведенного в трубу со значительным натягом, в каждой точке кольцевой зоны раскатывания возникает знакопеременный изгиб, при котором изгибные напряжения кратковременно достигают предела текучести σ_T (рис. 1).

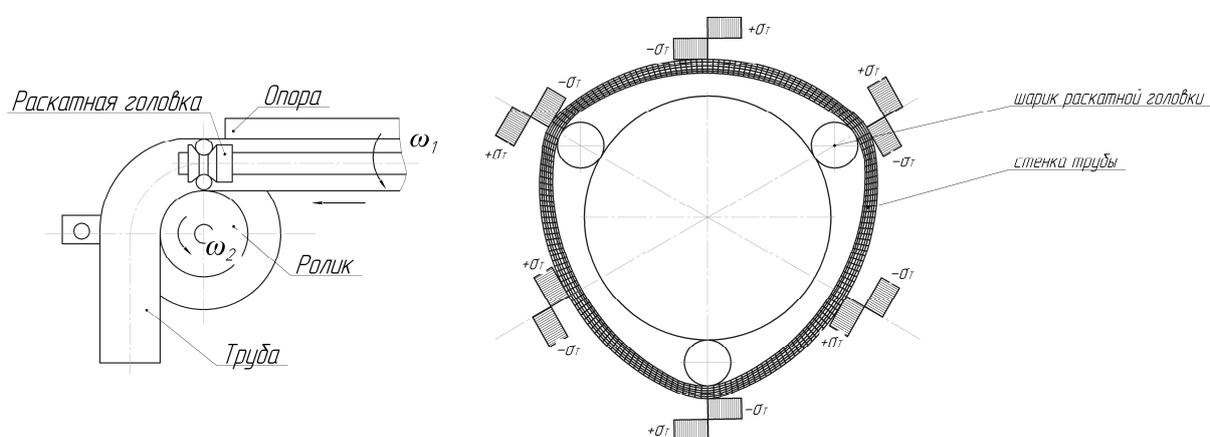


Рис. 1. Схема гибки труб с раскатыванием

В результате при приложении относительно небольшого усилия происходит гибка в перемещающейся кольцевой зоне раскатывания.

При этом требуется достаточно точно рассчитать скорость перемещения раскатника, при которой натяг будет находиться в необходимом диапазоне. Также важно оценить величину возникающих на шариках или роликах радиальных сил. Что касается эксплуатационных характеристик изделия – необходимо оценить остаточные деформации и напряжения в продольном сечении трубы, поскольку они достаточно сильно могут снизить срок её службы [2].

Для более точной оценки остаточных деформаций можно использовать ряд методов.

К неразрушающим подходам измерения остаточных напряжений относятся рентгеновский метод и ультразвуковой метод.

К косвенным сравнительным методам оценки остаточных напряжений относятся метод магнитной проницаемости, метод твердости, метод хруп-

ких покрытий, метод сеток и муаровых полос, оптический метод, метод голографической интерференции, метод оптически чувствительных покрытий [3].

Нами были использованы следующие методики предварительной оценки остаточных деформаций. Из гнутых труб были вырезаны продольные образцы из внутренней и наружной стенок (рис. 2). Величины остаточных деформаций определялись по изменению кривизны образцов. Для того чтобы проконтролировать изменения в продольном сечении трубы после резки, были сделаны проекции наружной и внутренней стенок отвода на бумагу.

Результаты проведенного исследования показали, что для трубы диаметром 108×4 мм, с радиусомгиба $2D$ наибольшие остаточные деформации выпуклой стенки трубы составили $5,5$ мм, а вогнутой – $2,5$ мм. Это связано с действием остаточных изгибных напряжений разного знака (рис. 3).

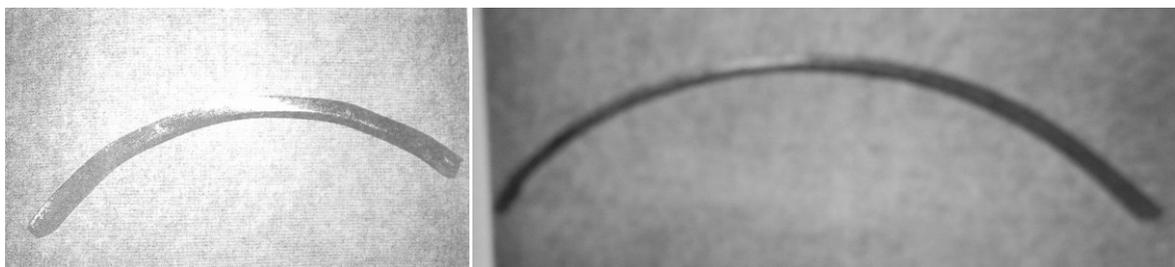


Рис. 2. Вогнутая и выпуклая части трубы соответственно

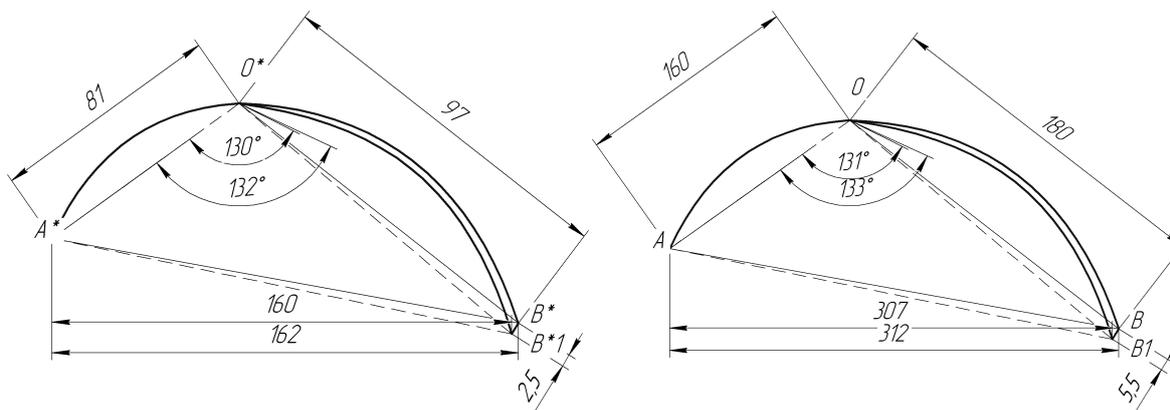


Рис. 3. Деформации выпуклой и вогнутой частей трубы соответственно

Второй метод оценки остаточных деформаций заключался в следующем. Деформированный участок трубы был разделен на 3 равноценных по длине зоны: зона начала гибки, середина и конецгиба (рис. 4).

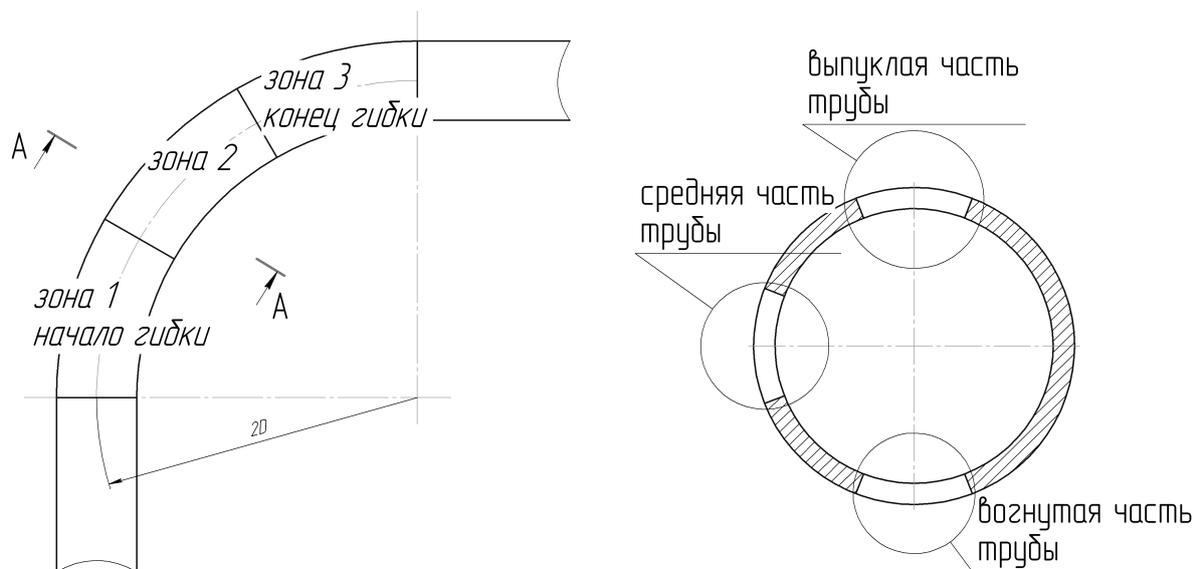


Рис. 4. Схема отбора образцов для измерения твердости

Из каждого участка были вырезаны образцы для измерения твердости соответственно из выпуклой, средней и вогнутой частей стенки. У каждого образца была измерена твердость на различных глубинах сечения стенки, достигающей 1 мм, всего 27 измерений (рис. 5).

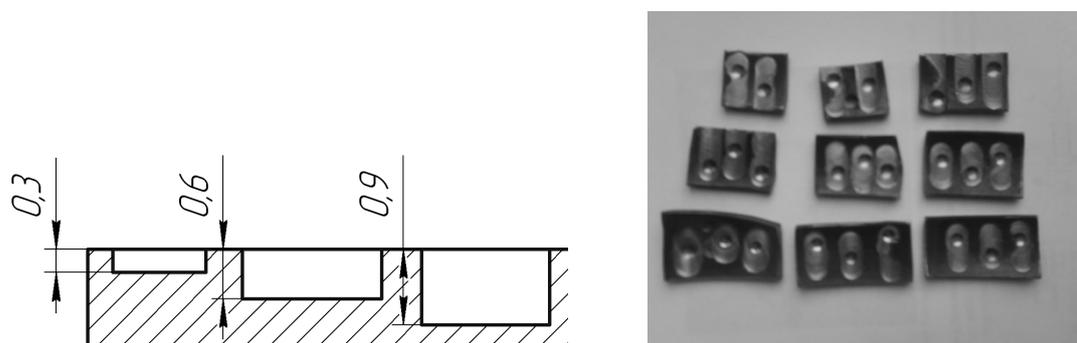


Рис. 5. Сечение образца, подготовленного к измерениям, и результаты эксперимента соответственно

Результаты эксперимента (см. таблицу) показывают, что распределение твердости в различных сечениях трубы в зависимости от глубины измерения неравномерно. Если оценивать изменение твердости в зависимости от зоны гибки, то твердость выпуклой стенки увеличивается с увеличением глубины измерений, что может быть связано с высокими давлениями, оказываемыми со стороны узлов трубогиба. Твердость по среднему радиусу плавно уменьшается, что свидетельствует о влиянии на твердость различных слоев стенки трубы только со стороны раскатника. Твердость по внутреннему радиусугиба изменяется слабо, что связано с давлением раскатника на внутреннюю стенку и уплотнением металла на наружной стенке трубы.

Результаты эксперимента

Величины измерений	Зона гiba								
	1			2			3		
Наружная стенка									
Глубина измерения, мм	0	0,5	1	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
Диаметр отпечатка, мм	5,2	4,2	4	6,1	4,9	4,5	4,8	4,6	4,4
Твердость по Бринеллю, НВ	131	207	229	92	149	179	156	171	187
Средняя стенка									
Глубина измерения, мм	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9	0,3	0,6	0,9
Диаметр отпечатка, мм	5,2	5,8	6,1	5,2	6,2	6,2	4,4	4,6	4,9
Твердость по Бринеллю, НВ	131	103	92	131	89	89	187	171	149
Внутренняя стенка									
Глубина измерения, мм	0,3	0,6	–	0	0,3	0,9	0,3	0,6	–
Диаметр отпечатка, мм	5,6	5,4	–	5,3	5,5	5,1	5,4	5	–
Твердость по Бринеллю, НВ	111	121	–	126	116	137	121	143	–

Из таблицы видно, что наиболее напряженной является выпуклая часть трубы, в которой твердость может превышать твердость других участков гiba до 2 раз, причем наиболее неравномерной твердостью обладает именно участок начала гiba, что может быть связано с наличием упругих деформаций на начальном этапе гибки.

Исходя из этого, можно сказать, что изделия, получаемые данным методом, находятся в напряженно-деформированном состоянии, что может отрицательно повлиять на процесс их эксплуатации, на основании чего предлагается использовать приведенные выше методы для уточнения оценки этого состояния.

Библиографический список

1. Пат. 818707 Российская Федерация, МКИ В 21 D 9/14. Способ гибки труб / С.Г. Лакирев, Я.М. Хилькевич (РФ); № 2713945/25; опубл. 07.04.81, Бюл. № 13.
2. Козлов, А.В. Технология и оборудование холодной гибки тонкостенных труб: моногр. / А.В. Козлов, А.В. Бобылев. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007.
3. Пригоровский, Н.И. Методы и средства определения полей деформаций и напряжений: справ. / Н.И. Пригоровский. – М.: Машиностроение, 1983.