

*И. Л. Пермяков***, *А. В. Савинов** – канд. техн. наук, *И. В. Арефьев** – асп.,
*И. Е. Лапин** – д-р техн. наук, *В. И. Лысак** – д-р техн. наук, *П. Р. Нечипоренко**** – канд. техн. наук

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ ВТОРОГО РОДА В СВАРНЫХ СПИРАЛЬНОШОВНЫХ И ПРЯМОШОВНЫХ ТРУБАХ

*Волгоградский государственный технический университет ([e-mail: straga5@yandex.ru](mailto:straga5@yandex.ru))

**ОАО "Волжский трубный завод"

***ООО НТЦ "Диатекс"

Проведен сравнительный анализ напряжений второго рода в сварном шве, околшовной зоне и основном металле спиральношовных и прямошовных труб. Показано влияние термической обработки на уровень микронапряжений и размер областей когерентного рассеяния (блоков мозаики) в разных зонах сварных соединений исследованных образцов.

The comparative analysis of pressure of the second sort in a welded near-seam zone and the basic metal *spiral and line seamed* pipes is carried out. Influence of thermal processing on level of micropressure and the size of areas of coherent dispersion (mosaic blocks) in different zones of welded connections of the investigated samples is shown.

Ключевые слова: спиральношовные и прямошовные трубы, напряжения второго рода, размер блоков мозаики, термическая обработка, сварной шов, зона термического влияния, основной металл.

В связи с интенсивным развитием нефтегазового комплекса страны приоритетным направлением является разработка и изготовление надежных и высококачественных труб большого диаметра из отечественных трубных сталей. Эти трубы изготавливают как прямошовными, так и спиральношовными. К числу отечественных заводов, выпускающих трубы большого диаметра, относятся ОАО "Волжский трубный завод" ("ВТЗ"), ОАО "Челябинский трубопрокатный завод", ОАО "Выксунский металлургический завод". Большое количество труб закупается за рубежом, особенно диаметром 1420 мм. ОАО "ВТЗ" является единственным в странах СНГ производителем спиральношовных труб большого диаметра.

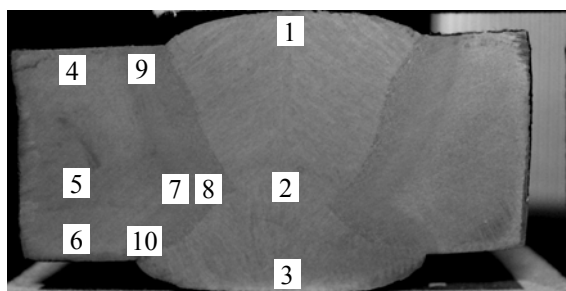
Для магистральных газонефтепроводов на отечественных заводах прямошовные трубы изготавливают из низколегированной листовой стали, прошедшей нормализацию, или стали контролируемой прокатки, спиральношовные – из низколегированной горячекатаной листовой и рулонной стали с возможной последующей термообработкой всей трубы, заключающейся в закалке и высоком отпуске.

Для сопоставления служебных характеристик спиральношовных и прямошовных труб,

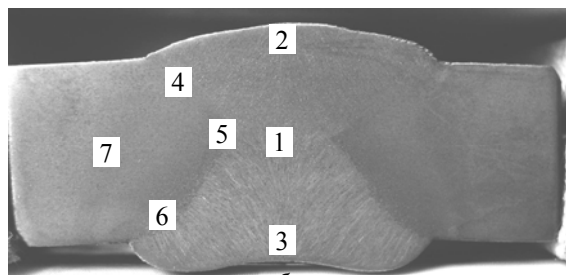
оптимизации механических свойств спиральношовных труб, усовершенствования технологии их сварки необходимо проведение комплекса металлографических исследований, анализ остаточных напряжений, а также экспериментальное определение механических характеристик сварных соединений, применяемых для изготовления труб большого диаметра для магистральных газонефтепроводов.

Данная работа посвящена сравнительному анализу напряжений второго рода в металле сварного шва, околшовной зоне и основном металле спиральношовных и прямошовных труб.

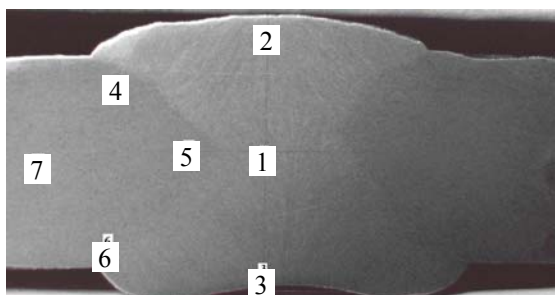
Для определения напряжений второго рода и размера блоков мозаики, которые являются областями когерентного рассеяния рентгеновских лучей, производилась рентгеновская съемка образцов, вырезанных из труб в местах сварных швов. По полученным результатам построены профили рентгеновских линий, на которых определяли интегральную интенсивность (площадь, ограниченную линией фона и дифракционной кривой). Затем находили экспериментальную ширину рентгеновских линий по отношению интегральной интенсивности к максимальной. После исключения уширения,



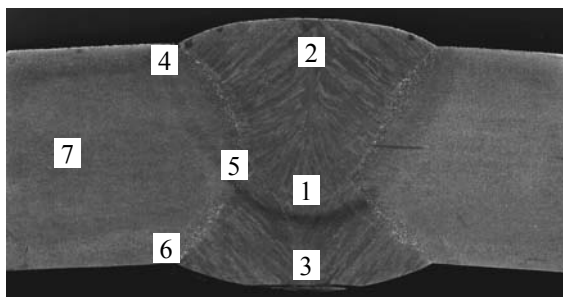
a



b



c



d

Места рентгеновских съемок в темплатах, вырезанных из сварных соединений труб: спиральношовной $\varnothing 1420 \times 18,7$ без ТО (a); $\varnothing 1220 \times 12,5$ без ТО (b); $\varnothing 1220 \times 12,5$ после ТО (c); прямошовной $\varnothing 1420 \times 18,7$ без ТО (d)

связанного с дублетностью, определяли истинную ширину рентгеновских отражений и выделяли из истинной ширины физическое уширение, связанное с характеристиками тонкой структуры, к которым относятся микронапряжения и блоки мозаики. В качестве эталона использовалось армко-железо, отожженное при $850\text{ }^\circ\text{C}$, в котором микронапряжения отсутствуют, а блоки крупные.

Исследования проводили на образцах, вырезанных из спиральношовных труб (СШТ) $\varnothing 1420 \times 18,7$ из стали 10Г2ФБ контролируемой прокатки, $\varnothing 1220 \times 12,5$ из стали 17Г1С-У без термической обработки и после нее, изготовленных на ОАО "Волжский трубный завод", а также из прямошовной трубы (ПШТ) $\varnothing 1420 \times 18,7$ из стали 10Г2ФБ контролируемой прокатки производства ОАО "Выксунский металлургический завод". Места рентгеновских съемок в темплатах, вырезанных из сварных соединений этих труб, представлены на рисунке.

Уровень микронапряжений второго рода и размер областей когерентного рассеяния (блоков мозаики) в разных зонах сварных соединений исследуемых образцов представлен в табл. 1–4.

Таблица 1

Значения напряжений второго рода и размера блоков мозаики в СШТ $\varnothing 1420 \times 18,7$ мм без ТО

Зона	Напряжения второго рода, МПа	Размер блоков мозаики, Å
1	120	520
2	64	672
3	350	718
4	386	678
5	315	723
6	392	848
7	358	681
8	236	904
9	262	690
10	350	851

Таблица 2

Значения напряжений второго рода и размера блоков мозаики в СШТ $\varnothing 1220 \times 12,5$ мм без ТО

Зона	Напряжения второго рода, МПа	Размер блоков мозаики, Å
1	371	663
2	203	871
3	178	1020
4	201	864
5	14	811
6	243	768
7	93	852

Как видно из табл. 1, уровень напряжений второго рода в сварном соединении спиральношовной трубы $\varnothing 1420 \times 18,7$ мм примерно одинаков во всех исследованных сечениях (236–385 МПа), за исключением верхней части свар-

Таблица 3

Значения напряжений второго рода и размера блоков мозаики в СШТ Ø 1220×12,5 мм после ТО

Зона	Напряжения второго рода, МПа	Размер блоков мозаики, Å
1	0	854
2	15	872
3	24	817
4	28	852
5	10	810
6	23	873
7	35	780

ного шва (зона 1) и места стыка двух валиков (зона 2). Наибольший размер блоков мозаики получен в зоне термического влияния на стыке двух сварных валиков (зона 8).

В СШТ Ø 1220×12,5 мм без термической обработки микронапряжения резко снижены в зоне термического влияния на стыке двух валиков сварного шва. Средний уровень напряжений второго рода в сварном шве и ЗТВ примерно в два раза выше, чем в основном металле (зона 7). Наибольший размер блоков мозаик получен в нижней части сварного шва.

Термическая обработка СШТ Ø 1220×12,5 мм значительно снижает микронапряжения во всех зонах сварного шва, термического влияния и основного металла, размер блоков мозаик одинаков для всех зон сварного соединения.

В прямошовной трубе Ø 1420×18,7 мм из металла контролируемой прокатки наибольшие напряжения обнаружены на границе сплавления двух валиков сварного шва (зона 1). При-

Таблица 4

Значения напряжений второго рода и размеров блоков мозаики в ПШТ Ø 1420×18,7 мм из металла контролируемой прокатки без ТО

Зона	Напряжения второго рода, МПа	Размер блоков мозаики, Å
1	299	520
2	182	1015
3	179	726
4	86	750
5	208	1052
6	89	720
7	25	1531

мерно на 30–40 % они ниже по оси сварного шва вблизи свободных поверхностей и в зоне термического влияния вблизи границы сплавления верхней и нижней частей шва (зоны 2, 3 и 5). В основном металле напряжения второго рода крайне низки и не превышают 25 МПа, а блоки мозаик наиболее крупные.

Сравнительные характеристики микронапряжений и размеров блоков мозаик одних и тех же точек в образцах сварных соединений труб представлены в табл. 5.

Напряжения второго рода металла сварного шва спиральношовной трубы Ø 1420 мм сопоставимы по уровню и градиенту с аналогичными показателями прямошовной трубы этого же диаметра и достигают максимальных значений 300–350 МПа. Размер блоков мозаики металла шва СШТ более стабилен (520–718 Å), чем ПШТ (520–1015 Å).

Таблица 5

Сравнительные характеристики напряжений второго рода и размеров блоков мозаик сварных соединений исследуемых труб

Зона	Напряжения второго рода, МПа				Размер блоков мозаики, Å			
	Ø 1220 без ТО	Ø 1220 после ТО	Ø 1420 СШТ без ТО	Ø 1420 ПШТ без ТО	Ø 1220 без ТО	Ø 1220 после ТО	Ø 1420 СШТ без ТО	Ø 1420 ПШТ без ТО
МШ	371	0	120	182	663	854	672	520
	203	15	64	299	871	872	520	1015
	178	24	350	179	1020	817	718	726
ЗТВ	201	28	262	86	864	852	690	750
	14	10	236	208	811	810	904	1052
	243	23	350	89	768	873	851	720
ОМ	93	35	315	25	852	780	723	1531

Микронапряжения металла сварного шва трубы \varnothing 1220 мм после термической обработки лежат в диапазоне 0–24 МПа, что значительно ниже, чем у аналогичной трубы без ТО и труб, изготовленных из контролируемого проката.

Аналогичная картина наблюдается и для металла зон термического влияния. Напряжения второго рода ЗТВ трубы \varnothing 1220 мм, прошедшей термообработку, на порядок меньше, чем в остальных трубах, а размер блоков мозаики более стабилен и имеет меньшие максимальные размеры.

В ы в о д ы

1. Напряжения второго рода металла шва и

зоны термического влияния сварного соединения спиральношовной трубы сопоставимы по уровню и градиенту с аналогичными показателями прямошовной трубы этого же диаметра. Размеры блоков мозаики СШТ более стабильны и имеют меньшие максимальные значения по сравнению с ПШТ.

2. Термообработка оказывает положительное влияние на напряжения второго рода. Так, микронапряжения СШТ после ТО на порядок меньше, чем у остальных труб, в том числе и прямошовных, а размер блоков мозаики во всех зонах сварного соединения практически одинаков.