

## **ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ГАЗОПРОВОДНЫХ ТРУБ ЛОКАЛЬНЫМ ДЕФОРМАЦИОННО- ТЕРМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

Алимов В.И., Штыхно А.П., Фатеев А.А.  
Донецкий национальный технический университет,  
АОЗТ «Агроспецмонтаж»

Стальные трубопроводы занимают значительное место в народном хозяйстве; потребность в газонефтепроводных трубах постоянно растет в связи с необходимостью транспортирования нефти, газа и других продуктов в пределах нашей страны и за ее рубеж; Для строительства газопроводов чаще всего используют прямошовные сварные трубы. Сварка металлов является прогрессивным технологическим процессом и его достоинства неопровержимы, однако он не свободен от недостатков; прочность сварных труб и надежность их при эксплуатации во многом зависят от качества сваренных соединений, к которым относятся высокие требования по вязкости и прочности [1, 2].

Для более полного использования высокой прочности и вязкости современных газопроводов стремятся получить равнопрочное сварное соединение, в котором наплавленный материал и зона термического влияния (ЗТВ) или околошовная зона, имели бы приблизительно одинаковые механические свойства. Стремление получить равнопрочное сварное соединение при дуговой сварке трубопроводов, которая обеспечит минимальные поковки и коробления при дальнейшей их эксплуатации, оправдывает привлечение для решения этой задачи комплексной локальной деформационно-термической обработки [3-5].

Поэтому целью данной работы является изучение влияния локального деформационно-термического воздействия на структуру и свойства сварных соединений труб из низкоуглеродистых сталей для газопроводов.

Для исследования были отобраны образцы труб, сваренных встык электродуговой сваркой, из низкоуглеродистых сталей 10, Ст2сп, 20, Ст3сп с толщиной стенки 4-5 мм. Химический состав основного и наплавленного металла труб приведен в таблице 1, из которой видно, что наплавленный металл каждого образца трубы отвечает по углеродному эквиваленту основному. Для выявления

наличия дефектов в сварных соединениях труб до обработки, их подвергали рентгеновской дефектоскопии.

Таблица 1 – Химический состав образцов сварных соединений труб из низкоуглеродистых сталей

Условное обозначение	Участок образца	Марка стали Электрод	Химический состав основного металла и металла шва, %									C <sub>экв</sub> , %
			C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	
А	Осн. металл	Ст2сп	0,11	0,40	0,02	0,040	0,015	0,08	0,07	0,10	0,022	0,204
	Шов	УОНИ 13/55 E40	0,09	0,45	0,12	0,037	0,048	0,07	0,03	0,04	0,006	0,184
Б	Осн. металл	10	0,13	0,45	0,17	0,035	0,025	0,06	0,05	0,04	0,030	0,223
	Шов	УОНИ 13/55 E42	0,10	0,50	0,10	0,030	0,024	0,06	0,04	0,05	0,007	0,205
В	Осн. металл	Ст3сп	0,15	0,40	0,12	0,033	0,017	0,06	0,04	0,04	0,029	0,234
	Шов	УОНИ 13/55 E42	0,10	0,50	0,10	0,030	0,024	0,06	0,04	0,05	0,007	0,205
Г	Осн. металл	20	0,17	0,39	0,17	0,040	0,030	0,07	0,04	0,05	0,006	0,255
	Шов	УОНИ 13/55 E46	0,10	0,70	0,36	0,015	0,023	0,05	0,03	0,03	0,006	0,235

Опытный режим локальной деформационно-термической обработки (ЛДТО) сварных соединений, осуществляли в условиях ОАО “ДПМЗ”. Образцы нагревали до температуры 980-1000°С с выдержкой в течение 15 – 20 мин., затем подвергали дробной деформации с относительной степенью обжатия  $\varepsilon = 67, 57, 52, 75\%$  для заготовок из сталей 10, Ст2сп, 20, Ст3сп, соответственно; далее выдерживали при температуре 650-670оС в течение 25-30 мин.; охлаждение производили на воздухе.

После проведения режима ЛДТО заготовки снова подвергали рентгеновской дефектоскопии для выявления наличия или отсутствия дефектов (рис.1). Далее проводили механические испытания всех

образцов на разрыв, ударную вязкость, коррозионную стойкость, изучали твердость по сечению и структуру.

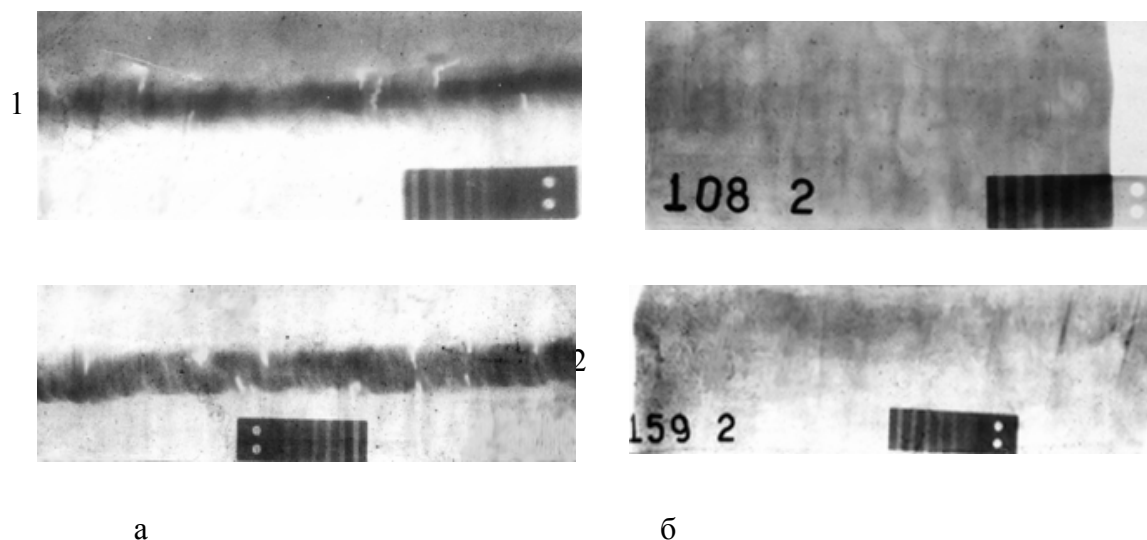


Рисунок 1 – Радиографическое изображение сварных соединений образцов: 1 – сталь 10; 2 – Ст3сп; а – исходное состояние, б – после обработки ЛДТО.

Коррозионную стойкость образцов до и после ЛДТО исследовали в условиях лаборатории коррозионных испытаний ДонНТУ. Т.к. газопроводные трубы могут прокладываться под землей, то на них преимущественно будет действовать агрессивная кислая среда. Поэтому для исследования коррозионной стойкости образцы подвергали ускоренному испытанию в 10%-ом растворе  $H_2SO_4$ .

Как видно из рентгеновских снимков (рис.1), после ЛДТО плотность потемнения между наплавленным и основным металлом практически сравнялась, что говорит о значительном уменьшении дефектов, а следовательно улучшении монолитности и качества сварного соединения.

Результаты испытаний образцов приведены в таблице 2. Из полученных результатов видно, что в среднем для сварных соединений из низкоуглеродистых сталей после ЛДТО пластичные, характеристики (растяжение, сужение) улучшаются в 1,15 раза, ударная вязкость растет в 1,3 раза, прочностные характеристики остаются приблизительно на том же уровне, что и до ЛДТО.

Таблица 2 – Механические свойства образцов сварных соединений из низкоуглеродистых сталей

Условное обозначение	Марка стали сановного металла	Режим обработки относительно ЛДТО	$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\delta$ , %	$\varphi$ , %	$KCU^{20^\circ C}$ , Дж/см <sup>2</sup>
			<i>мин. – макс.</i>			
			<i>среднее</i>			
А	Ст2сп	До	$\frac{368-376}{372}$	$\frac{21-25}{23}$	$\frac{82-84}{83}$	$\frac{82-92}{87}$
		После	$\frac{367-379}{373}$	$\frac{21-29}{25}$	$\frac{83-85}{84}$	$\frac{127-135}{131}$
Б	10	До	$\frac{403-411}{407}$	$\frac{21-25}{23}$	$\frac{69-73}{71}$	$\frac{68-76}{72}$
		После	$\frac{398-404}{401}$	$\frac{26-30}{28}$	$\frac{78-80}{79}$	$\frac{97-101}{99}$
В	Ст3сп	До	$\frac{415-421}{418}$	$\frac{17-19}{18}$	$\frac{81-83}{82}$	$\frac{71-85}{78}$
		После	$\frac{406-418}{412}$	$\frac{18-24}{21}$	$\frac{85-87}{86}$	$\frac{96-108}{102}$
Г	20	До	$\frac{442-450}{446}$	$\frac{22-26}{25}$	$\frac{73-79}{76}$	$\frac{106-114}{110}$
		После	$\frac{439-445}{442}$	$\frac{27-31}{29}$	$\frac{82-84}{83}$	$\frac{137-141}{139}$

Коррозионная стойкость растет в среднем в 1,2 раза для всех сталей, что свидетельствует о повышении комплекса свойств сварных соединений труб и обоснованной возможности продления срока их эксплуатации.

Измерение твердости по сечению сварных соединений от центра зоны наплавленного металла показало, что в исходном состоянии твердость по сечению распределялась неравномерно, наивысшие ее значения достигали  $HV_{10} = 2600$  Н/мм<sup>2</sup> в центре зоны сварного шва, самые низкие –  $1400$  Н/мм<sup>2</sup> в зоне основного металла на расстоянии 11-12 мм. После обработки образцов по технологии ЛДТО исчез резкий перепад твердости по сечению, твердость наплавленного металла практически сравнялась с твердостью основного и в среднем стала составлять  $1600-1700$  Н/мм<sup>2</sup>. Это говорит о стабилизации твердости сварного соединения после ЛДТО, а следовательно об исчезновении напряжений, которые могут привести к дефектам в сварных швах труб.

Для более детального изучения распределения твердости по всем зонам сварных соединений, измеряли микротвердость с учетом зон каждого образца. Графики распределения микротвердости по сечению сварных соединений в продольном направлении в исходном состоянии и после ЛДТО для разных низкоуглеродистых сталей представлены на рисунке 2.

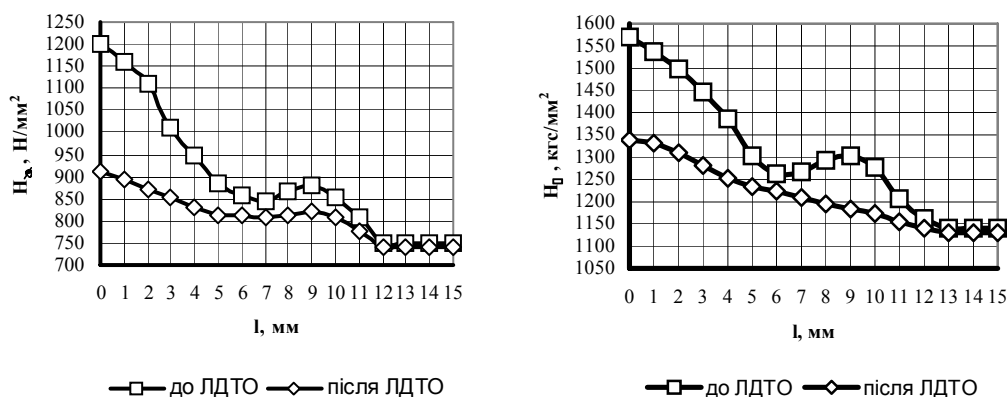


Рисунок 2 – Распределение микротвердости по сечению образцов сварных соединений из сталей: а – сталь 10; б - сталь 20

По результатам измерения микротвердости можно отметить такую тенденцию распределения твердости по сечению каждого образца: в зоне столбчатых кристаллов наблюдается наибольшая твердость, в зоне сплавления – резкое падение твердости, ее незначительное повышение – в зоне термического влияния, и выравнивание твердости уже на основном металле. После обработки ЛДТО практически исчезает повышение твердости в зоне термического влияния и наблюдается стабилизация ее по всему сечению образцов, а следовательно можно говорить о том, что стабилизируется комплекс прочностных свойств. Полученные результаты подтверждаются и микроструктурными исследованиями. В частности, наблюдается разнородность и неоднородность структуры по сечению, что приводит к появлению напряжений в сварном соединении и снижению пластических и прочностных характеристик. Сварной шов имеет грубозернистую дендритную структуру, а при повышенном содержании углерода можно наблюдать даже структуру крупноугольчатого мартенсита. Наименьшее зерно имеет зона термического влияния, которая обладает самыми низкими пластическими характеристиками. Крупное зерно имеет зона перегрева, что обуславливает пониженную твердость в этой зоне. До

обработки номер зерна согласно ГОСТ 5639 по сечению сварных соединений изменялся от 4 до 11.

После обработки сварных соединений по технологии ЛДТО исчезает зона столбчатых кристаллов и зона термического влияния, в зоне перегрева значительно измельчаются зерна, что ведет к получению равноосных зерен и однородности структуры. Разброс номера зерна по сечению согласно ГОСТ 5639 стал составлять 9-10, что говорит о достижении равномерности структуры наплавленного и основного металла.

Таким образом, обработка сварных соединений по технологии ЛДТО способствует получению монолитного сварного соединения за счет получения равновесной структуры по сечению всего сварного соединения, стабилизации комплекса свойств и, как следствие, повышению качества и долговечности сварных изделий, способствует снижению энергозатрат и затрат природных ресурсов, к тому же срок эксплуатации таких труб повышается в 1,2-1,3 раза.

#### **Литература:**

1. Остемин А.А, Дильман В.Л. Оценка влияния дефектов и эксплуатационной надёжности сварных прямошовных и спирально-шовных труб // Сварочное производство. - 2001, №9. - С.6-8.
2. Л.И.Эфрон. Формирование структуры и механических свойств конструкционных сталей при термомеханической обработке в потоке прокатного стана // Сталь. - 1995, №8. - С.57-64.
3. Плясунов В.А., Романцов И.А., Федоров А.А.. Локальная термомеханическая обработка сварных соединений газонефтепроводных труб большого диаметра // Сталь. - 2001, №6.- С.79-83.
4. Алимов В.И., Штырно А.П., Хохлаткина Е.А. Влияние локальной деформации и термической обработки на структуру и свойства сварных соединений трубопроводов // Металлургия и обработка металлов. - 2004, №7. - С. 45-47.
5. Алимов В.И., Штырно А.П., Хохлаткина Е.А. Структурные изменения при деформационно-термической обработке сварных соединений труб // Теория и технология процессов пластической деформации – 2004. Тезисы докладов. Москва: «MULTIPRINT-МИСиС» – 2004. - С 251-253.