

## **ВОПРОСЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ДЛЯ ГАЗОПРОВОДОВ**

Данзанова Е.В.

*Институт проблем нефти и газа СО РАН*

*e-mail: dhv4071@mail.ru*

*При температурах окружающего воздуха ниже нормативных произведена сварка полиэтиленовых труб для газопроводов по предлагаемому в ИПНГ СО РАН технологическому режиму. Эффективность технологического режима исследовалась методиками контроля качества сварных соединений рекомендуемыми нормативными документами. Установлено, что рекомендуемые методики не позволяют достоверно выявить нарушения технологического режима.*

Сварочные работы полиэтиленовых труб для газопровода могут производиться, согласно нормативным документам, при температуре окружающего воздуха (ОВ) от минус 15 °С до плюс 45 °С. При более широком интервале температур сварочные работы рекомендуется проводить в помещениях (укрытиях), обеспечивающих соблюдение заданного температурного интервала. Такая сварка требует длительных подготовительных работ, что в аварийных ситуациях может привести к выходу из строя жизнеобеспечивающей инфраструктуры населенных пунктов.

В ИПНГ СО РАН предложена методика выбора режимов оплавления полиэтиленовых труб при температурах ОВ ниже нормативных на основе математического моделирования тепловых процессов с учетом теплоты фазового перехода [1]. Методика позволяет увеличением продолжительности контакта нагрева-тельного инструмента и торцов труб при сварке в условиях низких температур получить такое же распределение температуры в сварном соединении, которое бывает при сварке в нормальных условиях. Таким образом, процесс охлаждения начинается практически при одинаковых распределениях температуры в части трубы, где происходят структурные изменения материала трубы.

На этапе осадки для обеспечения необходимой скорости охлаждения предложено использовать теплоизоляционную камеру (рис. 1). Повышение температуры воздуха в камере вследствие теплоотдачи с поверхности нагретой части трубы и грата приводит к снижению скорости охлаждения стенки. Таким образом,

регулирование скорости охлаждения при низких температурах ОВ осуществляется изменением размеров камеры, используя теплоту, накопленную свариваемым материалом при оплавлении. При этом температура внутри трубы вследствие низкой теплоемкости воздуха и теплоотдачи примерно одинакового количества теплоты с внутренней поверхности сварного соединения существенно не отличается при разных температурах ОВ [2].



Рисунок 1. Общий вид теплоизоляционной камеры при сварке полиэтиленовых труб при температурах ОВ ниже нормативных

Полиэтиленовые трубы ПЭ 80 SDR11 63×5,8 были сварены по различным технологическим режимам:

1) при допустимой температуре ОВ по регламентированному СП 42-103-2003 технологическому режиму (режим 1);

2) при температуре ОВ ниже минус 15 °С, время оплавления – регламентированное (55 сек), остальные параметры по регламенту СП 42-103-2003 (режим 2).

Нарушения технологического режима: температура ОВ ниже нормативного, продолжительность нагрева недостаточна, скорость охлаждения чрезмерно высокая;

3) температура ОВ ниже минус 15 °С, время оплавления расчетное (ИПНГ), остальные параметры по регламенту СП (режим 3).

Нарушение технологического режима: температура ОВ ниже нормативного, темп охлаждения чрезмерно высокий;

4) температура ОВ ниже минус 15 °С, продолжительность нагрева расчетная, охлаждение в теплоизоляционной камере, остальные параметры по регламенту СП (режим 4).

Нарушение технологического режима: температура ОВ ниже нормативного. Однако продолжительность нагрева выбрана, таким образом, что глубина проплавления достигает той же величины, что при сварке в нормальных условиях. Скорость охлаждения выдерживается в том же диапазоне, что при сварке в нормальных условиях. Режим 4 предложен в ИПНГ СО РАН.

Для оценки качества полученных сварных соединений были проведены следующие методы испытаний согласно требованиям СП 42-103-2003 «Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов» [3]: внешний осмотр, испытание на статический изгиб, испытание на осевое растяжение.

Внешний вид всех сварных соединений, полученных при различных режимах сварки, соответствовал критериям оценки внешнего вида соединений, выполненных нагретым инструментом встык. Таким образом, внешний осмотр не позволяет выявить нарушения технологического режима.

Для испытаний на статический изгиб образцы-полоски изготавливались по периметру шва вырезанием по 6 шт. с одного контрольного стыка. Испытания проводились до разрушения или до достижения предела текучести образцов. Для сравнительных целей были найдены напряжения при прогибе образцов в 1,5 толщины полиэтиленовой трубы, а также условная величина предела текучести. Расчеты производились по формулам, приведенным в работе [4] для определения условной величины максимального напряжения при трехточечном нагружении.

Все испытанные образцы выдержали без разрушения и появления трещин изгиб на угол не менее 160 °, требуемый по нормативному документу. Рекомендуемая СП 42-103-2003 методика испытаний качества сварного соединения также не позволила выявить нарушения технологического режима.

Далее, образцы были подвергнуты для сравнительных целей испытанию до разрушения или до достижения предела текучести. Из полученных кривых для

каждого образца были рассчитаны напряжения при прогибе в 1,5 толщины образцов (толщины стенки полиэтиленовой трубы) по формуле:

$$s = \frac{3PL}{2bh^2}, \quad (1)$$

где  $P$  - нагрузка;  $L$  - расстояние между опорами;  $b$  - ширина образца;  $h$  - толщина образца.

На рис. 2 приведены величины напряжений образцов со сварным швом, произведенным при температурах ниже нормативных. Сравнительный анализ кривых показывает, что величина максимальных напряжений при заданном изгибе образцов со сварным швом, произведенным по расчетному времени выше, чем максимальные напряжения при заданном изгибе образцов со сварным швом, произведенным по стандартному времени оплавления торцов свариваемых труб.

Условная величина предела текучести, рассчитывалась по формуле:

$$s = \frac{3PL}{2bh^2} \left( 1 + 6 \frac{D^2}{L^2} - 4 \frac{h}{L} \frac{D}{L} \right) \quad (2)$$

где  $D$  – прогиб центральной линии образца посередине между зажимами.

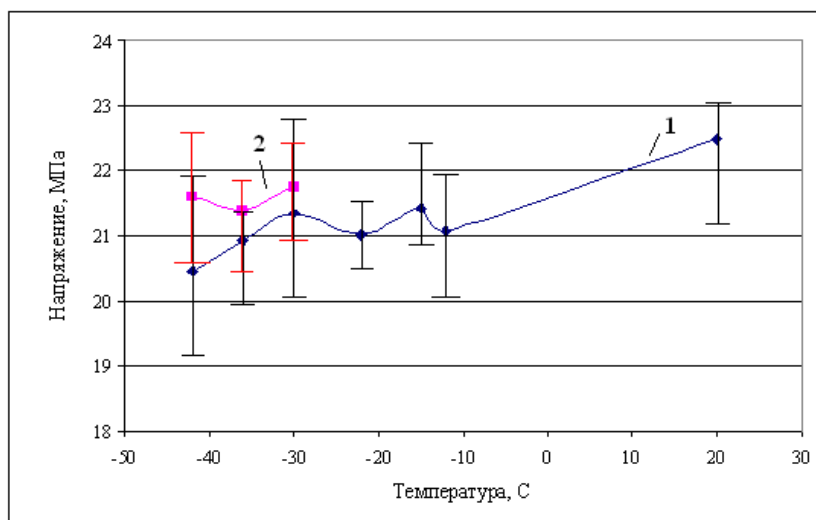


Рисунок 2. Напряжение при изгибе в 1,5 толщины образцов со сварным швом:

- 1 - время оплавления при сварке 55 с (режимы 1 и 2);
- 2 - расчетное время оплавления (режим 3)

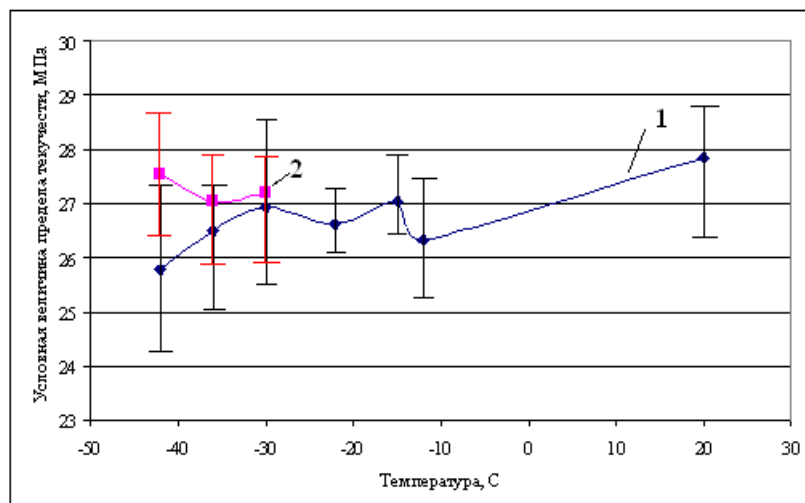


Рисунок 3. Условная величина предела текучести образцов сварных швов:

- 1 - время оплавления при сварке 55 с (режимы 1 и 2);  
2 - расчетное время оплавления (режим 3)

Из рис. 3, в котором приведены результаты расчетов по формуле (2) видно, что условные величины предела текучести образцов со сварным швом, произведенным при низких температурах по расчетному времени выше, чем условные величины предела текучести образцов со сварным швом, произведенным при комнатной температуре. Причем отмечается монотонное снижение на рис. 3 и 4 условных величин максимального напряжения при заданном изгибе и предела текучести образцов со сварным швом, произведенным по расчетному времени при снижении температуры ОБ.

Результаты испытаний также показывают, что исследования условных величин текучести образцов сварочных соединений не позволяют выявить нарушения технологического режима.

Для испытаний на осевое растяжение были изготовлены образцы-лопатки типа 2 по ГОСТ 11262 по 6 штук с каждого сварного соединения. Испытания проводились на универсальной разрывной машине UTS-20К при скорости движения захватов 25 мм/мин при комнатной температуре. По результатам испытаний был составлен протокол механических испытаний (табл. 1), где тип разрушений выявлялся согласно СП 42-103.

Таблица 1

## Протокол механических испытаний сварных стыков полиэтиленовой трубы

Технологический режим сварки; температура ОВ	№ обр.	$\sigma$ , МПа	$\sigma_{ср}$ , МПа	$\varepsilon$ , %	$\varepsilon_{ср}$ , %	Тип разрушения	Оценка стыка
Режим 2; -30 °С	1	18,699	18,294	9,566	125,61	Тип III	Не годен
	2	18,246		126,741		Тип I	
	3	17,988		146,923		Тип I	
	4	17,852		164,963		Тип I	
	5	18,57		169,091		Тип I	
	6	18,407		136,377		Тип I	
Режим 3; -30 °С	1	18,396	18,428	124,566	154,746	Тип I	Годен
	2	18,239		173,907		Тип I	
	3	18,564		134,409		Тип I	
	4	18,428		161,176		Тип I	
	5	18,232		165,719		Тип I	
	6	18,707		168,696		Тип I	
Режим 4; -30 °С	1	19,02	18,217	175,311	164,067	Тип I	Годен
	2	18,401		168,089		Тип I	
	3	18,62		113,334		Тип I	
	4	18,463		174,446		Тип I	
	5	18,262		184,925		Тип I	
	6	18,964		168,294		Тип I	
Режим 2; -40 °С	1	19,213	19,115	132,173	105,09	Тип I	Не годен
	2	19,202		41,484		Тип II	
	3	18,905		19,164		Тип II	
	4	19,126		137,759		Тип I	
	5	19,028		148,024		Тип I	
	6	19,216		151,937		Тип I	
Режим 3; -40 °С	1	18,818	18,807	137,587	124,54	Тип I	Годен
	2	18,836		145,952		Тип I	
	3	19,180		118,935		Тип I	
	4	18,554		132,385		Тип I	
	5	18,944		124,614		Тип I	
	6	18,509		87,764		Тип I	
Режим 4; -40 °С	1	18,246	18,362	151,417	171,22	Тип I	Годен
	2	18,172		195,927		Тип I	
	3	18,386		172,985		Тип I	
	4	18,465		148,417		Тип I	
	5	18,456		182,734		Тип I	
	6	18,445		175,838		Тип I	

Сварной шов полученный при температуре окружающего воздуха минус 30 °С по технологическому режиму 2 оказался не годным из-за наличия разрушения типа III, имеющего хрупкий характер на одном образце-лопатке и разрушение типа II, имеющего вязкий характер (рис. 4). Шов, произведенный при этой температуре окружающего воздуха по режиму 3, оказался годным; разрушение типа I наступило при достижении относительного удлинения в среднем 155 %,

что характеризует высокую пластичность. Шов, произведенный при этой же температуре окружающего воздуха по режиму 4 тоже оказался годным, имел разрушение типа I наступившее при достижении относительного удлинения в среднем 164 %, что характеризует более высокую пластичность.

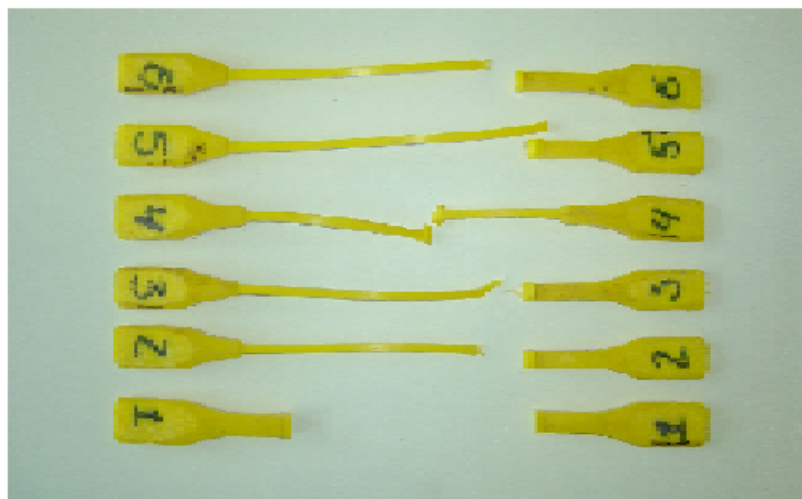


Рисунок 4. Разрушенные образцы-лопатки со сварным швом.  
Температура ОВ равна минус 30°C, время оплавления - 55 с (режим 2)

Сварной шов, произведенный при температуре окружающего воздуха - 40 °С по режиму 2, оказался не годным из-за наличия двух разрушений типа II, имеющих вязкий характер, что превышает допустимые 20 % для такого типа разрушений. Шов же, произведенный при этой же температуре окружающего воздуха по режиму 3, оказался годным: разрушение типа I наступило при достижении относительного удлинения в среднем 171 %, что характеризует высокую пластичность. Шов, произведенный при этой температуре окружающего воздуха по режиму 4, тоже оказался годным: разрушение типа I наступило при достижении относительного удлинения в среднем 124 %, что характеризует высокую пластичность.

Таким образом, сварные швы, полученные сваркой встык нагретым инструментом при температурах ОВ минус 30 °С и минус 40 °С по режиму 2 оказались не годными. Сварные швы, произведенные при этих температурах, но по режимам 3 и 4 оказались годными. При этом среднее относительное удлинение образцов-

лопаток со швами, охлажденными без камеры, оказалось ниже, чем среднее относительное удлинение образцов-лопаток со швами, охлажденным в камере.

Исследования показывают, что испытания на осевое растяжение позволяют выявить недостаточность продолжительности нагрева. Тем не менее, не позволяют выявить нарушения технологического режима по темпу охлаждения. В этом случае необходимо исследовать длительную прочность соединения.

Исследования сварных соединений полиэтиленовых труб для газопроводов показали, что существующие в нормативных документах методы контроля качества сварных соединений недостаточно информативны и не позволяют адекватно выявить нарушения технологического режима сварки и не могут быть использованы для контроля качества сварных соединений по предлагаемым новым технологическим режимам.

Известно, что при проведении процесса тепловой сварки полиэтиленовых труб структура в зоне шва резко меняется. От режима охлаждения расплава зависит зарождение и рост кристаллических образований [5]. Поэтому, для контроля качества сварных соединений наиболее информативными, вероятнее всего, будут структурные методы исследования физико-механических свойств.

### Литература

1. Старостин Н.П., Аммосова О.А. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Математическое моделирование теплового процесса // Сварочное производство. 2007. № 4. С. 17-20.
2. Старостин Н.П., Аммосова О.А. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Исследование процесса охлаждения // Сварочное производство. 2008. № 9. С. 31-34.
3. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов СП 42-103-2003. Изд. официальное. – М.: ЗАО «Полимергаз», 2004. 86 с.
4. Малкин А.Я., Аскадский А.А., Коврига В.В. Методы измерения механических свойств полимеров. М.: Химия, 1978. 336 с. Кайгородов Е.К., Каргин В.Ю. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность // Трубопроводы и экология. 2001. № 2. С. 13-14.