

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО СТЫКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ

Е.В. Данзанова, А.И. Герасимов, Г.В. Ботвин
ФГБУН ИПНГ СО РАН, г. Якутск

Введение

Сварка нагретым инструментом встык является основным способом соединения полимерных труб [1]. Согласно действующим нормативным документам, качество сварки проверяется следующими методами испытаний [2]:

Обязательные:

- внешний осмотр;
- испытание на осевое растяжение;
- ультразвуковой контроль;
- пневматические испытания

Специальные:

- испытание на статический изгиб;
- испытание при постоянном внутреннем давлении;
- испытание на длительное растяжение.

Анализ этих методов показывает, что ни один из них не дает количественной оценки прочности сварного соединения по стыку сварки. Некоторыми авторами также высказывается мнение о невысокой информативности испытаний и низкой достоверности получаемых при этом результатов [3–7].

Внешний осмотр считается достаточно полноценным, т.к. во-первых, он охватывает 100% швов и, во-вторых, по замеченным изменениям в размерах грата, его формы, цвета или равномерности распределения можно определить, какие из параметров сварки имели отклонения от установленных норм, или установить нарушение других условий сварки. В то же время визуальная оценка внешнего вида шва недостаточно эффективна, т.к. на формирование грата оказывают влияние температура окружающей среды и свойства самого материала. Недостатком метода является то, что визуальный контроль способен выявить только крупные дефекты, сопровождаемые изменением размеров и формы сварочного грата.

Испытание на осевое растяжение является пока основным и единственным оперативным методом оценки качества сварных соединений. Однако критерием определения качества сварного соединения, выполненного сваркой встык, является характер разрушения образцов. Известно, что при испытаниях на растяжение разрушение происходит в большинстве случаев по основному материалу, а не по сварному шву [8].

Ультразвуковой контроль, пневматические испытания, испытания на статический изгиб, испытания при постоянном внутреннем давлении, испытания на длительное растяжение являются с количественной стороны недостаточно информа-

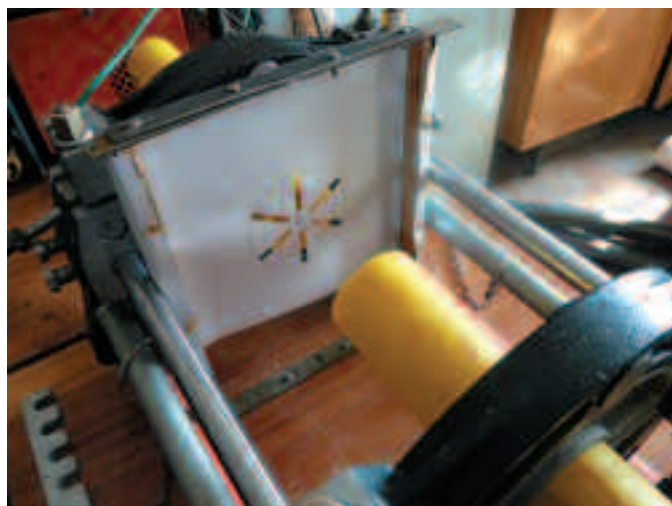


Рис. 1. Установка шаблона для создания заданной площади сварки в сварном соединении

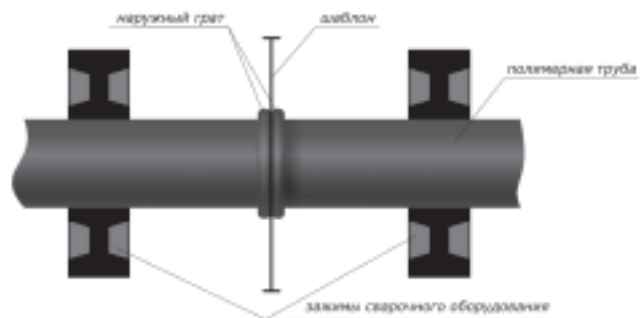


Рис. 2. Схема охлаждения сварного соединения под давлением осадки

тивными. Так, с помощью ультразвукового контроля должны выявляться внутренние дефекты типа несплавлений, трещин, отдельных или цепочек (скоплений) пор, включений площадью более 1,5 мм² [9]. Пневматические же испытания соединений производятся вместе с испытаниями всего ПЭ газопровода на прочность и герметичность при внутреннем давлении воздуха. При испытании на статический изгиб определяется угол изгиба образца, при котором появляются первые признаки разрушения. Результаты испытания считаются положительными, если испытываемые образцы выдерживают без разрушения и появления трещин изгиб на угол не менее 160°. Ранее нами было установлено, что результат таких испытаний

положительный даже в случае сварных соединений, выполненных с грубыми нарушениями технологического режима сварки [10]. Испытания при постоянном внутреннем давлении тоже не дают количественной характеристики прочности сварного шва: их результаты считаются положительными, если все испытываемые образцы не разрушились до истечения контрольного времени при нормальной и повышенной температурах или разрушился один из образцов.

Также производят испытание на длительное растяжение в активной среде – этот метод предусмотрен международным стандартом ISO 13952 и инструкцией DVS 2203-4 немецкого союза сварщиков как один из наиболее информативных [9]. Недостатком метода является то, что при испытаниях фиксируется время до разрушения, и количественно определить прочность сварного соединения по месту сплавления невозможно.

Таким образом, существующие методы контроля качества сварных стыковых соединений полимерных труб являются недостаточно информативными, и ими невозможно количественно определить прочность сварного соединения по стыку сварки. Поэтому для количественной оценки прочности сварного стыкового соединения был разработан способ испытаний сварных соединений с заданной площадью сварки, основанный на том обстоятельстве, что сварной шов по прочности, как правило, уступает прочности основного материала [11]. Способ заключается в следующем. Для исследуемого сварного стыкового соединения полиэтиленовой трубы заранее готовились шаблоны из тонкого материала с низкой теплопроводностью, например, из листа писчей бумаги, препятствующего свариванию всей площади торцов трубы. Вырез для сваривания торцов трубы располагался так, чтобы в вырезанных образцах-лопатках площади сваренных участков были равными друг к другу, а по величине равными или не большими, чем сечение рабочей части основного материала образца-лопатки.

В процессе сварки после удаления нагревательного инструмента, во время технологической паузы, вставлялся шаблон (рис. 1). Затем осадка и охлаждение сварного соединения происходило вместе с шаблоном (рис. 2).

Через 24 часа после сварки изготавливались образцы-лопатки типа 2 по ГОСТ 11262 [12] равномерно по периметру шва в количестве не менее пяти штук, так, чтобы область сварки находилась на середине образца-лопатки, что легко выполнить, ориентируясь по краям вставленного шаблона из белого листа бумаги. Испытания на растяжение образцов-лопаток производили согласно ГОСТ 11262 на универсальной разрывной машине UTS20K при скорости раздвижения захватов 25 мм/мин. Так как наименьшей прочностью обладает область сварного соединения, то при условии равенства поперечного сечения образца-лопатки и стыка сварки разрушение происходило по месту сплавления сварного соединения. Обработку результатов испытаний проводили принятыми методами, т.е. из диаграммы нагрузка-деформация определяли разрушающую нагрузку $P_{разр}$ в момент разрыва образца. Разрушающее напряжение σ вычислялось по формуле:

$$\sigma = \frac{P_{разр}}{S}$$

где S – площадь сваренного участка.

Таким образом, можно получить количественную оценку прочности сварного соединения по стыку.

Описанным способом (патент РФ 2465560) можно исключить влияние на прочностные свойства сварного стыкового соединения не только внешнего грата, но и внутреннего грата или обоих гратов.

Авторы напоминают, что согласно статье 1359 Гражданского кодекса, части IV не являются нарушением исключительного права на изобретение, полезную модель или промышленный образец:

п. 2. Проведение научного исследования продукта или способа, в которых использованы изобретение или полезная модель, либо научного исследования изделия, в котором использован промышленный образец, либо проведение эксперимента над таким продуктом, способом или изделием;

п. 4. Использование изобретения, полезной модели или промышленного образца для удовлетворения личных, семейных, домашних или иных не связанных с предпринимательской деятельностью нужд, если целью такого использования не является получение прибыли или дохода.

Целью проведенного исследования было определение влияния изменений одного из технологических параметров сварки нагретым инструментом встык полиэтиленовых труб для газопроводов ПЭ 80 SDR 11 63x5,8 на прочность сварного шва по предложенной методике.

Методика проведения исследований

В исследованиях использовалась машина для сварки встык нагревательным элементом ROWELD P160B фирмы ROTHENBERGER (Германия). Исходя из инструкции по эксплуатации данной сварочной машины, для полиэтиленовой трубы ПЭ 80 SDR 11 63x5,8 за базовые были приняты следующие технологические параметры: $P_{ос} = 4,4$ атм.; $t_n = 4$ с; $T_n = 220^\circ\text{C}$; $t_{охл} = 8$ мин.; $t_n = 58$ с.; $P_n = 0,6$ атм.

Сварка нагретым инструментом встык производилась с соблюдением заданной площади сварки по описанной выше методике, при комнатной температуре с измененным одним вышеуказанным параметром технологического процесса сварки при сохранении остальных параметров.

Результаты испытаний на растяжение приведены на рис. 3–8. Зеленым цветом обозначены соответствующие нормативные значения параметров сварки для данного типоразмера полиэтиленовой трубы.

Результаты исследований и их обсуждение

При сохранении остальных параметров наибольшая прочность получается при температуре нагретого инструмента 220–240°C (рис. 3).

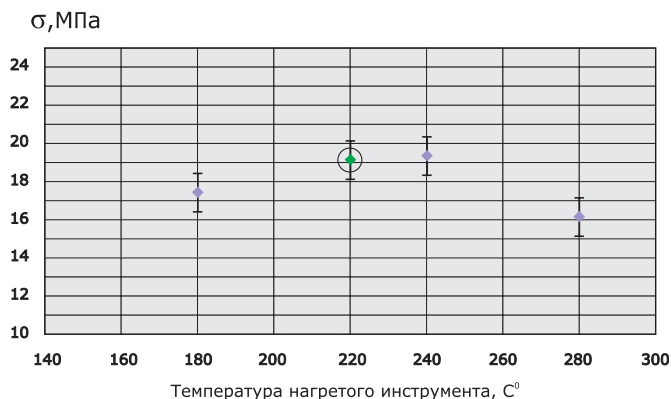


Рис. 3. Разрушающее напряжение сварных соединений, полученных при различных значениях температуры нагретого инструмента

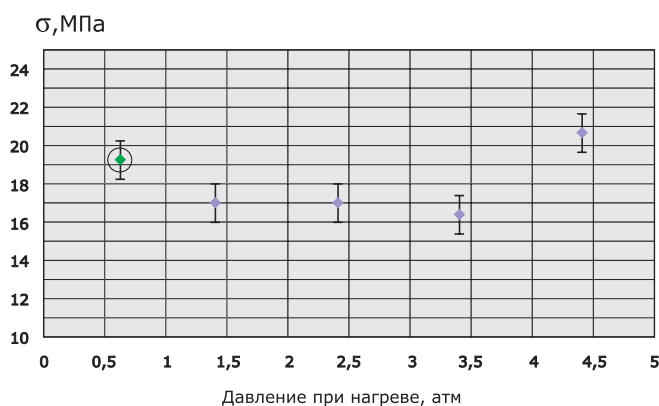


Рис. 4. Разрушающее напряжение сварных соединений при различных давлениях при нагреве торцов свариваемых труб

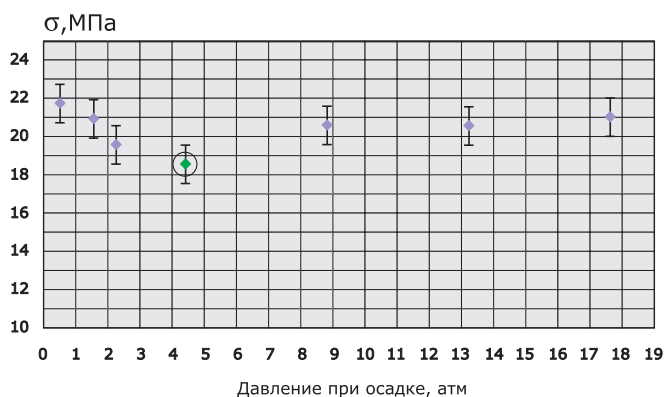


Рис. 5. Разрушающее напряжение сварных соединений, полученных при различных давлениях при осадке

Повышение давления при нагреве уменьшает прочность, однако при давлении нагрева, равном давлению при осадке, получается увеличение разрушающего напряжения сварного соединения по стыку (рис. 4). Данный факт является очень интересным, и по этому направлению будут проведены дополнительные исследования.

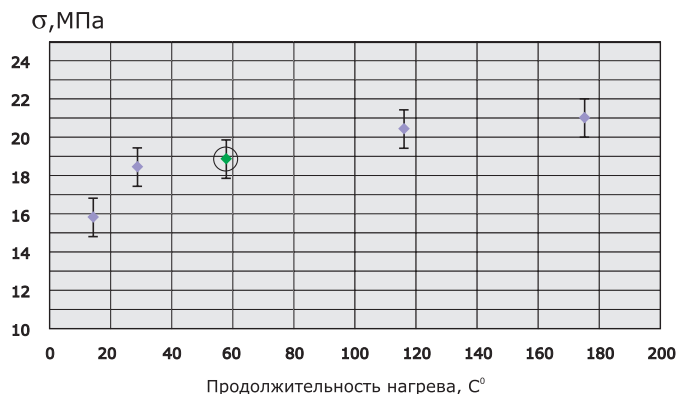


Рис. 6. Разрушающее напряжение в зависимости от продолжительности нагрева торцов свариваемых труб

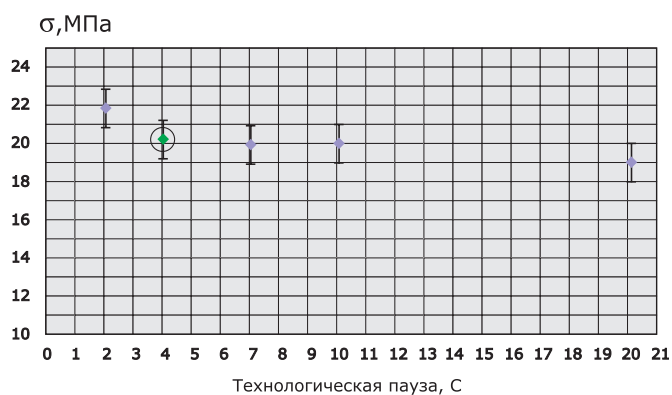


Рис. 7. Разрушающее напряжение сварных соединений в зависимости от продолжительности технологической паузы

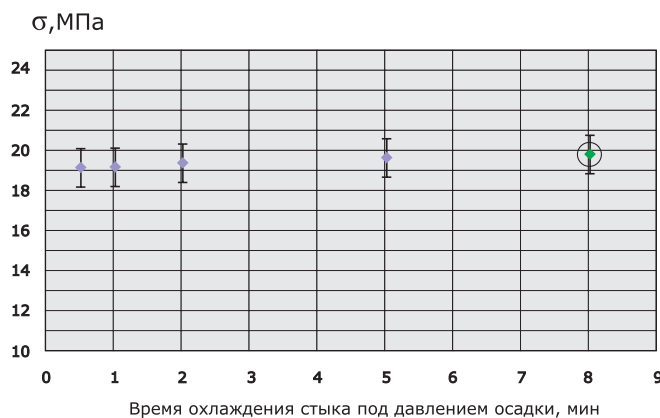
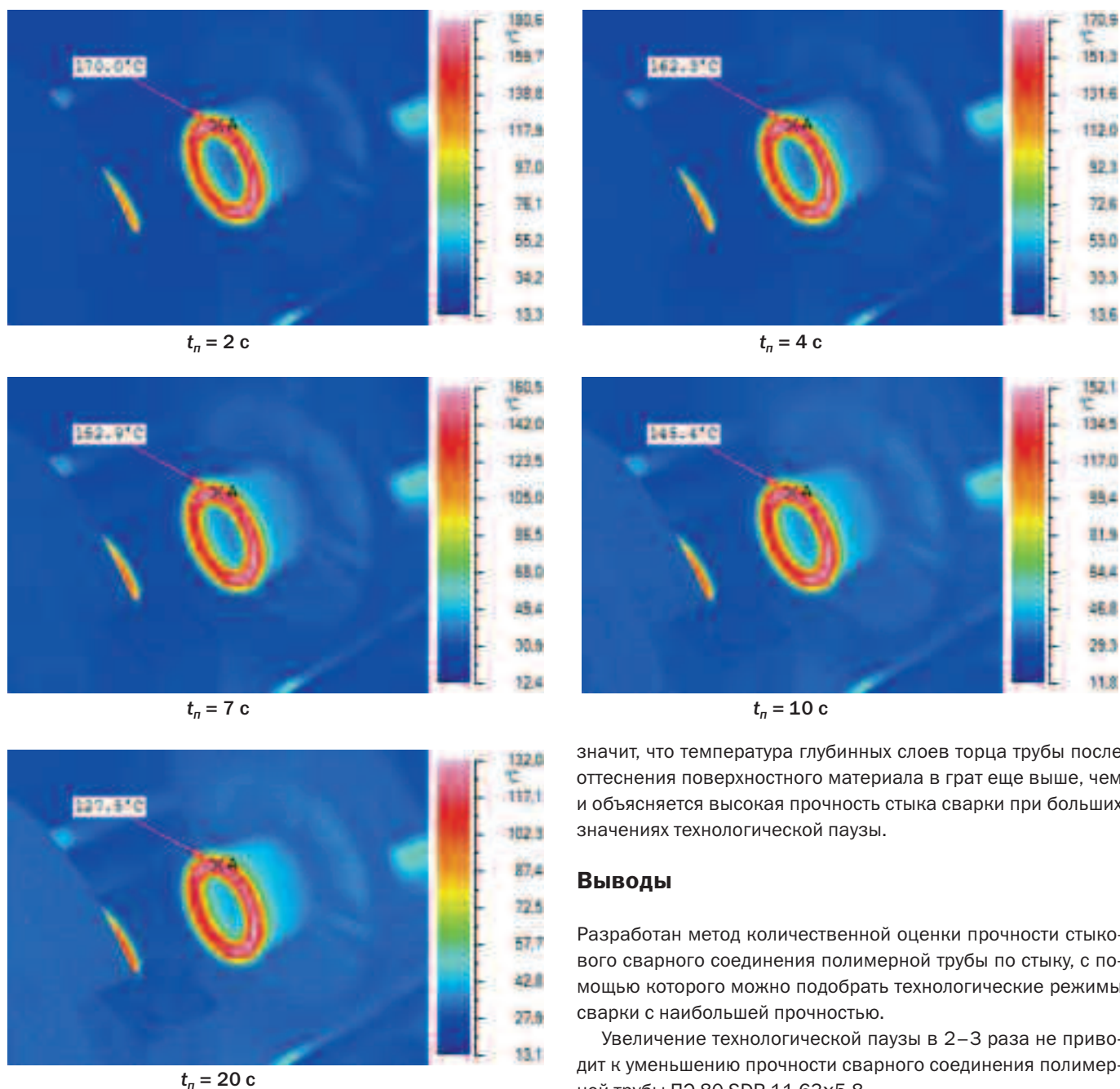


Рис. 8. Разрушающее напряжение сварных соединений в зависимости от времени охлаждения стыка под давлением осадки

В то же время очень странным является наименьшая величина прочности сварного шва при рекомендованном значении давления при осадке – 4,4 атм. (рис. 5).

Увеличение продолжительности нагрева приводит к увеличению прочности, что, видимо, объясняется увеличением площади грата (рис. 6).

Рис. 9. Температура полиэтиленовой трубы во время технологической паузы



Увеличение продолжительности технологической паузы в 2–4 раза при комнатной температуре для данного типоразмера полиэтиленовой трубы не приводит к снижению прочности сварного шва (рис. 7).

Уменьшение времени охлаждения стыка под давлением осадки не влияет на прочность сварного шва (рис. 8).

На рис. 9 приведены термограммы торца трубы во время технологической паузы. Действительно, даже на 10-й секунде температура поверхности торца трубы превышает температуру плавления полиэтилена. Известно, что градиент температуры полиэтилена на 1 мм глубины равен 50°C [16]. А это

значит, что температура глубоких слоев торца трубы после отщеснения поверхностного материала в грат еще выше, чем и объясняется высокая прочность стыка сварки при больших значениях технологической паузы.

Выводы

Разработан метод количественной оценки прочности стыкового сварного соединения полимерной трубы по стыку, с помощью которого можно подобрать технологические режимы сварки с наибольшей прочностью.

Увеличение технологической паузы в 2–3 раза не приводит к уменьшению прочности сварного соединения полимерной трубы ПЭ 80 SDR 11 63x5,8.

Значительное сокращение времени остывания сварного шва под давлением осадки не влияет на прочность по стыку сварного соединения полиэтиленовых труб.

Высокие требования, предъявляемые к сварочному оборудованию для стыковой сварки полимерных труб, не вполне оправданы.

Литература

1. Кораб Г.Н., Адаменко А.А., Репа В.П. Повышение надежности сварных соединений пластмассовых труб, выполненных нагретым инструментом встык // Автоматическая сварка, 1984, № 4. – С. 64–65.
2. СП 42-103-2003. Проектирование и строительство газопроводов

- из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов. – Взамен СП 42-101-96, СП 42-103-97, СП 42-105-99. – М.: Полимергаз, ФГУП ЦПП, 2004. – 86 с.: ил.
3. Максименко В.Н. и др. Повышение усталостной прочности соединений труб из ПЭВП, выполненных сваркой оплавлением встык // Сварочное производство, 1982, № 1.
4. Адаменко А.А., Кораб Г.Н., Тарногородский В.П. Повышение качества соединений пластмассовых труб, выполненных контактно-тепловой сваркой // Автоматическая сварка, 1983, № 3. С. 51–53.
5. Аксенова Г.В., Кашковская Е.А. Контроль качества сварных соединений труб из полиэтилена по характеру разрушения при осевом растяжении // Автоматическая сварка, 1980, № 2. С. 61–63.
6. Бартенев Г.М. Физика и механика полимеров. М.: Высшая школа, 1983.
7. Зайцев К.И. и др. Исследование процесса снятия грата при стыковой контактно-тепловой сварке пластмассовых труб // Сварочное производство, 1982, № 1. С.14–16.
8. Красников М.А., Пожалов Ю.В., Соколов В.А. Механика разрушения стыковых сварных соединений полиэтиленовых труб при испытании на растяжение статической нагрузкой // Полимергаз, 2011. № 1. С. 36–38.
9. Шурайц А.Л., Каргин В.Ю., Вольнов Ю.Н. Газопроводы из полимерных материалов: Пособие по проектированию, строительству и эксплуатации. Саратов: Изд-во «Журнал «Волга – XXI век», 2007. 612 с.
10. Данзанова Е.В. Вопросы контроля качества сварных соединений полиэтиленовых труб для газопроводов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело» http://www.ogbus.ru/authors/Danzanova/Danzanova_1.pdf 2009. С. 1–8.
11. Пат. 2465560 Российская Федерация МПК G01L/00, G01L1/26, F16L47/00G01L1/00 (2006.1). Способ испытания прочности сварного стыкового соединения полимерных труб / Герасимов А.И., Данзанова Е.В., Ботвин Г.В.; заявитель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – 2011115737/28, заявл. 20.04.2011; опублик. 29.10.2012, Бюл. № 30.
12. ГОСТ 11262-80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. – Введ. 1980-12-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.: ил.
13. Зайцев К.И., Мацюк Л.Н. Сварка пластмасс. Москва: Машиностроение, 1978. 223 с.
14. Кораб Г.Н., Минеев Э.А., Савицкий А.З., Ральчук И.Н. Высокотемпературная сварка встык тонкостенных полиэтиленовых труб // Автоматическая сварка, 1984, № 11. С. 55–57.
15. В.Н. Максименко, К.И. Зайцев, А.В. Чибиков. Удаление грата со сварных швов полиэтиленовых труб // Пластические массы, 1981, № 12. С.30–31.
16. Аммосова О., Старостин Н., Герасимов А. Сварка полиэтиленовых труб при низких климатических температурах. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG. Германия. 2012. 96 с. ISBN: 978-3-8473-7400-8.

РЕПЛИКА

Экспериментальные исследования в области технологии сварки ПЭ труб довольно редки и, безусловно, заслуживают внимания. Достаточно большой коллектив исследователей из ФГБУН ИПНГ СО РАН, (г. Якутск), к которому принадлежат авторы комментируемой статьи, выполняет весьма интересные и крайне актуальные исследования в области сварки при крайне низких температурах. В ФГБУН ИПНГ СО РАН организованы широкомасштабные испытания сварных соединений ПЭ труб, в том числе исключительно важная оценка длительной прочности сварных соединений в режиме осевого растяжения.

Эти соображения дают основание с интересом отнестись к новой публикации авторов.

Тем не менее, нельзя не отметить следующее.

Объект исследования – труба ПЭ 80 SDR 11 63x5,8 – выбран не слишком удачно, поскольку ПЭ 80 на российском рынке практически вытеснен ПЭ 100, имеющим значительные отличия от ПЭ 80 в части свариваемости. Выбор трубы малого диаметра также ограничивает ценность полученных результатов, которые не удастся распространить на другие размеры труб.

Нельзя безоговорочно согласиться с тезисом авторов о преимуществах кратковременных испытаний на растяжение и с критикой других методов контроля, имеющих хороший «послужной список» в глобальной практике контроля.

В частности, считаю очень полезным сочетание тестов на растяжение с испытаниями на изгиб.

Важно отметить также, что никакие кратковременные испытания не могут заменить длительные, если речь идет не о выявлении ошибок сварщика, а об оценке надежности сварного соединения, выполненного по модернизированной технологии сварки.

Еще в 80-е годы прошлого века Б.Ф. Виндт и И.В. Лурье получили экстремальные зависимости кратковременной прочности и показателей долговечности от основных параметров сварки (см. Сварка полимерных материалов в трубопроводном строительстве. М.: ВНИИСТ, 1985). При этом экстремумы кратковременных и длительных свойств сварных соединений не совпали. Предпочтение, разумеется, было отдано показателям долговечности.

Таким образом, экспериментальные данные авторов статьи несомненно заслуживают внимания. Однако интерпретация результатов и, особенно, выводы из них вызывают вопросы и не могут быть приняты без серьезных корректив и проверок.

Профессор В.И. Кимельблат