

<https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-24-41>

Сварка нагретым инструментом трубопроводов из полиэтилена для газоснабжения диаметром 90-315 мм

Н. И. Иванов¹, Д. А. Чевычелов¹, Е. Ю. Писевич¹,
С. А. Чевычелов¹ ✉, М. С. Разумов¹

¹ Юго-Западный государственный университет
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: tschsa@yandex.ru

Резюме

Цель исследования. Применяемый в Российской Федерации ГОСТ Р 55276-2012 не регламентирует конкретных данных по выбору той или иной процедуры при различных условиях сварки и типоразмеров применяемых труб, оставляя это на усмотрение потребителя. В отличие от процедуры сварки при единственно низком давлении, хорошо отработанной и широко применяемой в отечественной практике, сварка по процедуре при единственном высоком давлении, позволяющая в три раза сократить время сварочного цикла, практически не используется и специально предназначенные сварочные машины в России не выпускаются. В связи с этим данная работа посвящена разработке режимов сварки нагретым инструментом стыковых соединений труб из полиэтилена диаметром от 90 до 315 мм для SDR 13,6 - SDR 9,0 при единственном высоком давлении, выбору возможного отечественного сварочного оборудования и экспериментальной проверке разработанных режимов.

Методы. В данной статье для стыковой сварки нагретым инструментом труб из полиэтилена диаметром от 90 до 315 мм, используя расчетную методику, определены основные параметры сварочной процедуры при единственном высоком давлении. При выборе сварочной машины, необходимой для сварки труб рассматриваемого диапазона по сварочной процедуре при единственном высоком давлении, по результатам проведенного анализа технических характеристик отечественных сварочных машин и особенностей их эксплуатационных возможностей, предпочтение отдано сварочной машине с гидравлическим приводом «Волжанин ССПТ-315». Для экспериментальной проверки выполненных расчетов параметров процедуры сварки по циклограмме при единственном высоком давлении было сварено четыре стыка труб диаметром 110 мм с толщиной стенки 10 мм из ПЭ-100 (SDR 11,0) и произведен визуально-измерительный контроль качества выполненных соединений и кратковременные испытания технологических образцов на осевое растяжение на машине Р-50.

Результаты. Механические испытания технологических образцов всех стыков труб из ПЭ-100 диаметром 110 мм (SDR 11,0), выполненных на сварочной машине ССПТ-315 по сварочной процедуре при единственном высоком давлении, показали 100 %-ный результат пластичного характера разрушения при величине удлинения от 500 до 600 %.

Заключение. Высокое качество экспериментальных стыков труб из ПЭ-100 предполагает возможность использования машины ССПТ-315 для сварки нагретым инструментом труб из полиэтилена всего регламентированного техническими характеристиками диапазона по сварочной процедуре при единственном высоком давлении.

Ключевые слова: сварка; полиэтиленовые трубопроводы; нормативные документы; процедуры сварки стык; параметры сварки; сварочное оборудование; качество сварки.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Сварка нагретым инструментом трубопроводов из полиэтилена для газоснабжения диаметром 90-315 мм / Н. И. Иванов, Д. А. Чевычелов, Е. Ю. Писевич, С. А. Чевычелов, М. С. Разумов // Известия Юго-Западного государственного университета. 2023; 27(2): 24-41. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-24-41>.

Поступила в редакцию 12.05.2023

Подписана в печать 29.06.2023

Опубликована 02.08.2023

Hot Tool Welding of Pipelines from Polyethylene for Gas Supply with a Diameter of 90-315 mm

Nikolay N.I. Ivanov¹, Dmitry A. Chevychelov¹, Evgeny Yu. Pisevich¹,
Sergey A. Chevychelov¹ ✉, Mikhail S. Razumov¹

¹ Southwest State University

50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: tschsa@yandex.ru

Abstract

Purpose of research. GOST P 55276-2012 applied in the Russian Federation does not regulate concrete data on the choice of this or that procedure under various conditions of welding and standard sizes of the applied pipes, leaving it to the discretion of the consumer. Unlike the procedure of the welding with only low pressure which is well fulfilled and widely applied in domestic practice, the welding according to the procedure with the only high pressure allowing to reduce three times time of a welding cycle is practically not used and specially intended welding machines in Russia are not issued. In this regard this work is devoted to development of the modes of hot tool welding of abutting connections of pipes from polyethylene with a diameter from 90 to 315 mm for SDR 13.6 - SDR 9.0 with the only high pressure, to the choice of possible domestic welding equipment and experimental check of the developed modes.

Methods. In this article for butt welding by the heated tool of pipes from polyethylene with a diameter from 90 to 315 mm, using a design technique, main parameters of welding procedure are determined with the only high pressure.

When choosing the welding machine necessary for tube welding of the considered range on welding procedure with the only high pressure, by results of the carried-out analysis of technical datas of domestic welding machines and features of their operation capabilities it is preferred as the welding machine with the hydraulic drive "Native of the Volga Region of SSPT-315".

For experimental check of the executed payment of parameters of the procedure of welding under the cyclogram with the only high pressure four joints of pipes with a diameter of 110 mm with thickness of a wall of 10 mm from PE-100 (SDR 11.0) have been welded and visual and measuring quality control of the executed connections and short-term tests of technological samples on axial stretching by the R-50 machine is made.

Results. Mechanical tests of technological samples of all joints of the pipes from PE-100 with a diameter of 110 mm (SDR 11.0) executed on the SSPT-315 welding machine on welding procedure with the only high pressure have shown 100% - ny result of plastic nature of destruction at the size of lengthening from 500 to 600%.

Conclusion. The high quality of experimental joints of pipes from PE-100 assumes a possibility of use of the SSPT-315 machine for hot tool welding of pipes from polyethylene of everything of the range regulated by technical datas on welding procedure with the only high pressure.

Keywords: welding; polyethylene pipelines; normative documents; procedures of welding end-to-end; welding parameters; welding equipment; weld quality.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Ivanov N.I., Chevychelov D.A., Pisevich E. Yu., Chevychelov S.A., Razumov M.S. Hot Tool Welding of Pipelines from Polyethylene for Gas Supply with a diameter of 90-315 mm. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2023; 27(2): 24-41 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2023-27-2-24-41>.

Received 12.05.2023

Accepted 29.06.2023

Published 02.08.2023

Введение

В мировой практике строительства трубопроводных систем газоснабжения из полимерных материалов наиболее важным методом соединения полиэтиленовых (ПЭ) труб является сварка нагретым инструментом (НИ) встык [1-4]. Широкая сфера практического применения стыковой сварки НИ труб из ПЭ обусловлена целым рядом технических и экономических преимуществ перед другими конкурирующими методами сварки, к которым следует отнести технологичность контактной сварки встык, надежность стыковых соединений труб между собой и с различными соединительными деталями, экономию трудовых, финансовых и временных затрат, а также соответствие современным экологическим требованиям [5-8].

Стыковые соединения труб из ПЭ (рис. 1) играют исключительно важную роль в обеспечении надежности полимерных трубопроводов, поэтому следует отметить, что при выполнении любого стыкового соединения, независимо от диаметрального размера используемых труб и стандартного размерного отношения диаметра к толщине стенки SDR, соблюдение различных требова-

ний нормативных документов является обязательным [9-10].

Наружные газопроводы выполняются в соответствии с требованиями нормативного документа СП 62.13330.2011. Они относятся к напорным трубопроводным системам из ПЭ. Наиболее распространенными являются относительно простые газопроводы распределительных сетей, обеспечивающие доставку газа к потребителям непосредственно от газораспределительных станций, для строительства которых требуются ПЭ трубы относительно небольших диаметров.

Пытаясь уменьшить неопределенность, существовавшую ранее при разработке технологических процессов сварки НИ труб из ПЭ, международная стандартизирующая организация (ISO) составила стандарт ISO 21307¹, содержащий три процедуры сварки ПЭ газопроводов и водопроводов с варьируемыми основными параметрами сварочного процесса. На основе аутентичного перевода ISO 21307 создан Российский

¹ ISO 21307:2011. Plastics pipes and fittings – Butt fusion jointing procedures for polyethylene (PE) pipes and fittings used in the construction of gas and water distribution systems (MOD).

ГОСТ Р ИСО 55276-2012¹. В Российской практике стыковой сварки полимерных труб из ПЭ ГОСТ Р ИСО 55276-2012 стал успешной попыткой устранить различия в технологии сварки. Теперь технологи могут использовать его для устранения необоснованных технических решений, которые появились в нормативной технической документации в последние десятилетия. Многовариантность решений, предлагаемых ГОСТ Р ИСО 55276-2012, создает квалифицированным специалистам просторное поле для маневра при составлении спецификаций на процесс сварки [1].

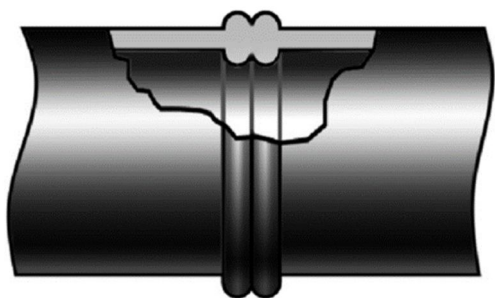


Рис. 1. Стыковое сварное соединение труб из ПЭ систем газоснабжения

Fig. 1. An abutting weld joint of pipes from PE of systems of gas supply

ГОСТ Р 55276-2012, так же, как и ISO 21307, регламентирует три процедуры стыковой сварки НИ труб из ПЭ, а именно – «при единственном низком давлении», «при двойном низком дав-

лении» и «при единственном высоком давлении». В данном случае речь идет о давлении, действующем в плоскости сварки стыковых соединений в момент оплавления торцов, их осадки и охлаждения. На рис. 2 изображена зависимость нормативного давления P в плоскости сварки от времени t для процедур сварки при единственном низком давлении (традиционная процедура для Германии и России) и при единственном высоком давлении (традиционно применяется в США, в частности фирмой McElroy).

Процедура сварки при двойном низком давлении не нашла распространения в практике ввиду ограниченного существующего сварочного оборудования для его использования и несовершенства самой технологии [9].

Применяемый в Российской Федерации ГОСТ Р 55276-2012 не регламентирует конкретных данных по выбору той или иной процедуры при различных условиях сварки и типоразмеров применяемых труб, оставляя это на усмотрение потребителя.

Отличием процедур сварки при единственном низком давлении и при единственном высоком давлении (при идентичности циклограмм процессов, рис. 2) является увеличение при единственном высоком давлении давления P_{on} и P_{oc} примерно в три раза и уменьшение времени $t_{охл}$ и, соответственно, чистого времени процесса $t_{св}$ не менее, чем в три раза.

¹ ГОСТ Р 55276-2012(ISO 21307-2011). Трубы и фитинги пластмассовые. Процедуры сварки нагретым инструментом встык полиэтиленовых (ПЭ) труб и фитингов, используемых для строительства газо- и водопроводных распределительных систем. М.: Стандартинформ, 2013. 31 с.

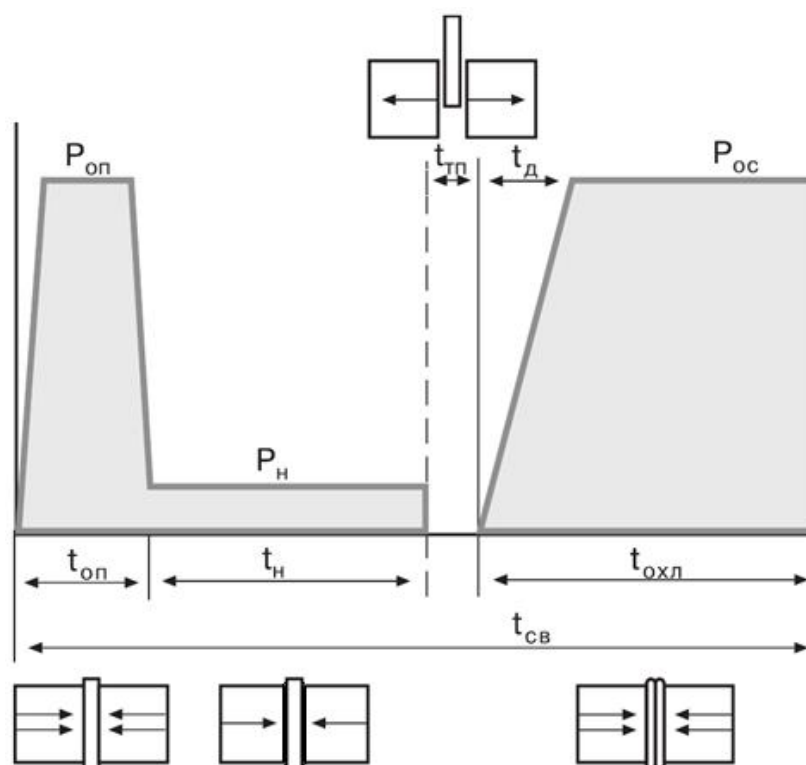


Рис. 2. Циклограмма сварочного процесса при единственном низком и единственно высоком давлении: $t_{оп}$ – время оплавления торцов; $t_н$ – время нагревания (прогрева); $t_{тп}$ – время технологической паузы на удаление нагревателя; $t_д$ – время подъема давления осадки; $t_{охл}$ – время охлаждения сварного соединения под давлением; $t_{св}$ – общее время сварки; $P_{оп}$ – давление нагревательного инструмента на торцы труб при оплавлении; $P_н$ – давление нагревательного инструмента на торцы труб при нагревании (прогреве); $P_{ос}$ – давление на торцы труб при осадке

Fig. 2. The cyclogram of welding process at the only thing low and only high pressure: $t_{оп}$ – time of melting of end faces; $t_н$ – time of heating (warming up); $t_{тп}$ – time of a technological pause for removal of the heater; $t_д$ – time of rise in pressure of draft; $t_{охл}$ – time of cooling of a weld joint under pressure; $t_{св}$ – general time of welding; $P_{оп}$ – pressure of the heating tool upon end faces of pipes when melting; $P_н$ – pressure of the heating tool upon end faces of pipes when heating (warming up); $P_{ос}$ – pressure upon end faces of pipes at draft

Таким образом для реализации процедуры сварки встык НИ больших труб из ПЭ при единственном высоком давлении (близко к верхнему пределу рабочего диапазона сварочной машины) требуются в разы более крепкий центратор и более мощный гидравлический агрегат. С другой стороны, при сварке по данной процедуре относительно небольших труб (близко к нижнему пределу рабочего диапазона сварочной ма-

шины или немного ниже диапазона) режим является достаточно выгодным. В связи с этим данная работа посвящена разработке режимов сварки НИ стыковых соединений труб из ПЭ диаметром от 90 до 315 мм для SDR 13,6 - SDR 9,0 при единственном высоком давлении, выбору необходимого сварочного оборудования и экспериментальной проверке разработанных режимов.

Материалы и методы

Достаточно часто, при определении параметров режима сварки различных материалов используют расчетные методики.

Для расчета параметров настройки сварочного аппарата для создания требуемого давления при сварке НИ труб из ПЭ использовали расчетную методику, по которой необходимо обладать следующими исходными данными:

D_n – номинальный (наружный) диаметр трубы из ПЭ, мм;

s_n – толщина стенки трубы, мм;

S – площадь стыка, мм²;

S_c – площадь цилиндра гидравлического привода сварочной машины, мм².

Площадь свариваемого стыка можно рассчитать по формуле

$$S = \pi(D_n^2 - D_i^2)/4, \quad (1)$$

где $\pi = 3,14$.

Качество выполнения сварочных работ в значительной мере определяется техническими характеристиками сварочного оборудования.

Сварочные машины состоят из центраторов, которые предназначены для фиксации свариваемых заготовок труб и их перемещения с заданным усилием, для чего машины оснащаются гидравлическим приводом и устройством для измерения создаваемого в процессе сварки усилия. Кроме того, машины комплектуются устройствами для зачистки свариваемых поверхностей и нагреваемым инструментом.

На Российском рынке хорошо представлены сварочные машины основных производителей сварочной техники. Вопрос выбора сварочной машины постоянно возникает перед сварщиками трубопроводных систем. Цены на сварочные машины значительны и могут различаться в 10...15 раз у разных производителей и поставщиков, что превращает выбор основного сварочного оборудования в серьезную проблему. Обоснованный выбор сварочной техники может быть сделан, во-первых, на основе анализа нормативных требований на машины и, во-вторых, после тестирования машин на соответствие требованиям [3]. Основным условием, предъявляемым к сварочному оборудованию, является его способность обеспечивать требования реализуемой технологии сварки [11-13]. Конструкция сварочного оборудования должна соответствовать размерам заготовок свариваемых труб и необходимым условиям сварки. Наиболее авторитетными документами, на которые можно опираться при оценке сварочной техники, являются международный стандарт ISO 21307 и идентичные российские ГОСТ, в частности ГОСТ 12176-1-2011¹.

При выборе сварочного оборудования для реализации процесса сварки НИ по процедуре при единственном высоком давлении трубопроводов систем га-

¹ ГОСТ 12176-1-2011 Трубы и фитинги пластмассовые. Оборудование для сварки полиэтиленовых систем. Часть 1. Сварка нагретым инструментом встык. М., 2011.

зоснабжения из ПЭ диаметром от 90 до 315 мм были рассмотрены основные технические характеристики, приведен-

ные в табл. 1, трех аппаратов отечественных производителей ПРОСВАР С-315, ROBU W 315 и ССПТ-315.

Таблица 1. Технические характеристики сварочных аппаратов

Table 1. Technical datas of welding machines

Технические характеристики / Technical specifications	ПРОСВАР С-315 / PROSVAR-315	ROBU W 315 / ROBU W 315	ССПТ-315 / SSPT-315
Диаметр свариваемых труб, мм / Diameter of the welded pipes, mm	40...315	90...315	75...315
Максимальное рабочее давле- ние, бар / Maximum working pressure, bar	100	140	100
Потребляемая мощность, кВт / Power consumption, kW	4,95	4,85	4
Масса, кг / Weight, kg	160	220	146
Общая площадь гидравличе- ских поршней, мм ² / Total area of hydraulic pistons, mm ²	2002	2238	2513
Цена, тыс. руб. / Price, thousand rubles	305	359	586,8

По результатам проведенного анализа технических характеристик выбранных аппаратов и особенностей их эксплуатационных возможностей преимущество было отдано сварочной машине с гидравлическим приводом «Волжанин ССПТ-315». Данная сварочная машина позволяет вручную задать режимы процедуры сварки и обеспечить технологичность сварочного процесса по процедуре при единственном высоком давлении в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55276-2012 для всего размерно-

го ряда труб из ПЭ, регламентированных в технических характеристиках.

На сварочной машине ССПТ-315 с гидравлическим приводом давление на разных этапах цикла сварки по процедуре при единственном высоком давлении можно определить по следующим выражениям:

$$P_{\text{оп}} = P_{\text{ос}} = 0,52 (S/S_c) \times 10 \text{ (бар)} \quad (2)$$

$$P_{\text{н}} = 0,02 (S/S_c) \times 10 \text{ (бар)}, \quad (3)$$

где 0,52 – значение для $P_{\text{оп}}$ и $P_{\text{ос}}$ является постоянной величиной, соответствующей требуемому параметру ре-

жима сварки 0,52 МПа, для циклограммы процесса при единственном высоком давлении;

0,02 – значение для P_n является постоянной величиной, аналогично предыдущему, соответствующей 0,02 МПа (к данной величине давления должно быть добавлено давление, требуемое для перемещения трубной заготовки).

В расчетах по используемой методике задействован такой параметр, как площадь цилиндра конкретного оборудования для сварки полиэтиленовых труб (S_c). Поэтому нормативные документы рекомендуют для определения парамет-

ров режима на конкретном сварочном аппарате с гидравлическим приводом использовать готовые таблицы с параметрами процедуры сварки для каждого типоразмера труб, в которых вместо давления на разных этапах цикла в соответствии с ГОСТ Р 55276-2012 приводятся величины требуемого давления гидравлического привода.

Результаты выполненных расчетов давления по формулам (2) и (3) и параметров времени различных этапов сварки при единственном высоком давлении по ГОСТ Р 55276-2012 сведены в табл. 2.

Таблица 2. Параметры режима сварки нагретым инструментом ПЭ труб различного типоразмера систем газоснабжения на сварочной машине с гидравлическим приводом ССПТ-315 по циклограмме при единственном высоком давлении

Table 2. Parameters of the mode of hot tool welding of PE of pipes of various standard size of systems of gas supply on the welding machine with the hydraulic SSPT-315 drive according to the cyclogram with the only high pressure

D_n , мм / D_n , mm	$P_{оп} = P_{ос}$, бар / $P_{оп} = P_{ос}$, bar	P_n , бар / P_n , bar	Первичный валик, мм / Primary roller, mm	t_n , с / t_n , sec	$t_{пн}$, с / $t_{пн}$, sec	t_d , с / t_d , sec	$t_{охл}$, мин / $t_{охл}$, min
SDR 13,6							
90	3,6	0,14	2	67	6	6	2,9
110	5,4	0,2	2,2	81	6	6	3,5
125	6,9	0,26	2,4	92	7	7	4
140	8,7	0,33	2,5	103	7	7	4,4
160	11,4	0,43	2,8	118	8	8	5
180	14,4	0,55	3	133	8	9	5,7
200	17,7	0,68	3,2	147	9	10	6,3
225	22,4	0,86	3,5	166	9	10	7,1
250	27,7	1,06	3,8	184	10	11	7,9
280	34,7	1,33	4,1	206	10	11	8,9
315	44	1,69	4,5	232	11	11	9,9

Окончание табл. 2 / Table 2 (ending)

D_n , мм / D_n , mm	$P_{оп} = P_{ос}$, бар / $P_{оп} = P_{ос}$, bar	P_n , бар / P_n , bar	Первичный валик, мм / Primary roller, mm	t_n , с / t_n , sec	$t_{тп}$, с / $t_{тп}$, sec	t_d , с / t_d , sec	$t_{охл}$, мин / $t_{охл}$, min
SDR 11,0							
90	4,4	0,17	2,0	82	9	5	3,5
110	6,5	0,25	2,5	100	9	6	4,3
125	8,4	0,32	2,7	114	9	7	4,9
140	10,5	0,4	2,9	127	9	7	5,5
160	13,8	0,5	3,2	146	9	8	6,3
180	17	0,65	3,5	164	10	9	7
200	21,5	0,82	3,7	182	10	9	7,8
225	27,2	1,04	4	205	10	10	8,8
250	33,5	1,28	4,4	227	10	11	9,7
280	42	1,61	4,8	254	11	12	11
315	53	2,04	5,3	286	11	13	12,3
SDR 9,0							
90	5,24	0,2	2,5	101	7	7	4,3
110	7,8	0,3	2,8	123	8	8	5,3
125	10,1	0,4	3,1	140	8	9	6,02
140	12,7	0,49	3,4	157	9	10	6,75
160	16,5	0,64	3,7	179	10	11	7,7
180	20,9	0,8	4	201	10	12	8,6
200	25,9	1	4,4	224	11	13	9,6
225	32,7	1,26	4,8	252	12	14	10,8
250	40,3	1,5	5,2	279	13	15	12
280	50,6	1,95	5,7	313	14	16	13,5
315	64	2,46	6,28	352	15	18	15,1

Примечание. SDR – стандартное размерное отношение наружного диаметра трубы к толщине стенки.

Для экспериментальной проверки выполненных расчетов параметров процедуры сварки по циклограмме при единственном высоком давлении, приведенных в табл. 3, было сварено четыре стыка труб диаметром 110 мм с толщиной стенки 10 мм из ПЭ-100 (SDR 11,0)

и произведен визуально-измерительный контроль качества [14-16] выполненных соединений, данные измерений приведены в табл. 3. Стыки труб под номером 1 и 2 были сварены при температуре нагревателя 220 °С, а стыки 3 и 4 – при температуре 205 °С.

Таблица 3. Геометрические размеры грата сварных швов, выполненных по процедуре сварки при единственном высоком давлении на сварочной машине ССПТ-315**Table 3.** The geometrical sizes of a fin of the weld joints executed according to the procedure of welding with the only high pressure on the SSPT-315 welding machine

Номер стыка / Joint number	Ширина грата (b), мм / Width of a fin (b), mm	Высота грата (h), мм / Height of a fin (h), mm
1	9,5	3,1
2	9,0	2,5
3	9,8	3,0
4	9,2	2,7

Принято считать, что наиболее обоснованные в научном отношении данные о качестве сварных соединений дают длительные механические испытания их на осевое растяжение. Так как эти испытания требуют очень больших затрат времени, трудоемкости и потому выполняются очень редко, то в международной практике контроля стыковых сварных соединений ПЭ труб, выполненных НИ, преимущественно используются кратковременные испытания технологических образцов на осевое растяжение [17-21].

Главной оценкой качества сварного шва при испытаниях на растяжение является характер разрушения. Пластичский характер разрушения свидетельствует о его хорошем качестве, хрупкий – о неудовлетворительном.

Нами разрушающие испытания проводились в соответствии с ГОСТ 11262-80. Из каждого сварного стыка фрезеровались по пять технологических образцов-лопаток, как показано на рис. 3.

Испытания проводили через 24 часа после проведения сварки. Каждый образец маркировался таким образом, чтобы его первоначальное положение в изделии можно было определить. Скорость растяжения образцов из ПЭ-100, согласно требованиям ГОСТ 11262-2017, принималась равной 50 ± 5 мм/мин.

В зажимах разрывной машины Р-50 технологические образцы закреплялись по меткам, определяющим положение кромок зажимов таким образом, чтобы продольные оси зажимов и ось образца совпадали между собой и с направлением движения подвижного зажима, как показано на рис. 4. Зажимы сдавливались равномерно, чтобы исключалось скольжение образца в процессе испытания, но при этом не происходило его разрушение в месте закрепления. За результат испытания принималось минимальное значение относительного удлинения при разрыве.

Вид закрепленного в зажимах разрывной машины образца непосредственно перед его разрушением показан на рис. 4.б.



Рис. 3. Технологические образцы с маркировкой, готовые к испытаниям

Fig. 3. Technological samples with marking, ready to tests

В процессе испытания на разрывной машине Р-50 записывались кривые нагрузки/деформации вплоть до разрыва образца и на этой кривой отмечалась нагрузка, соответствующая пределу те-

кучести, а также фиксировалась конечная длина образца при разрыве, как показано штрих-пунктирными линиями на графике, представленном на рис. 5.



а



б

Рис. 4. Технологический образец, закрепленный в захватах разрывной машины Р-50: **а** – до приложения растягивающей нагрузки; **б** – непосредственно перед его разрушением

Fig. 4. The technological sample fixed in captures of the explosive R-50 machine: **а** – to the application of a tensile load; **б** – just before its destruction

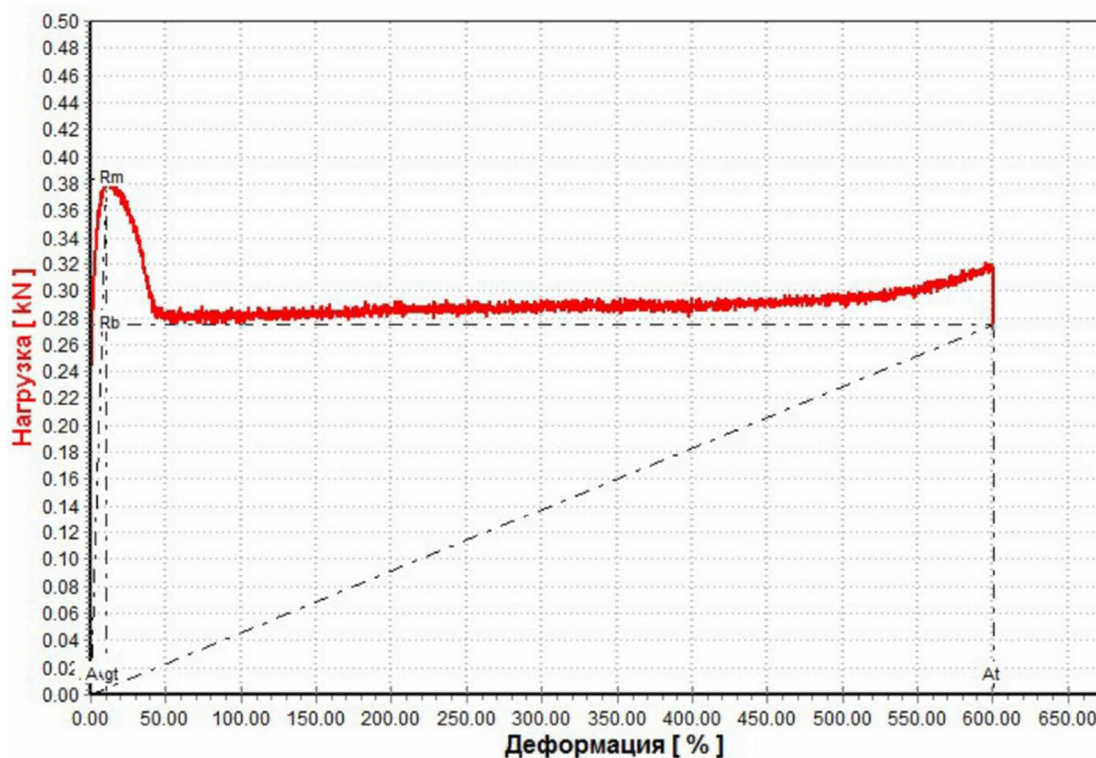


Рис. 5. График нагрузки/деформации вплоть до разрыва технологического образца

Fig. 5. The schedule of loading/deformation up to a rupture of a technological sample

Результаты и их обсуждение

Внешний вид сварных соединений, выполненных сваркой нагретым инструментом встык, должен отвечать предъявляемым требованиям [1, 14, 22-24].

Сопоставление полученных результатов показывает, что они полностью удовлетворяют требованиям к сварному соединению для полиэтиленовых труб диаметром 110 мм SDR 11,0, указанным в СП 42-103-2003 (допускаемая ширина грата от 6,5 до 10,0 мм и высота грата от 2,5 до 4,5 мм). Кроме того, как показывает визуально-измерительный контроль, изменение температуры нагревателя от 205 до 220 °С не оказывает существенного влияния на качество свар-

ных соединений полиэтиленовых труб диаметром 110 мм SDR11,0.

В соответствии с требованиями ГОСТ при испытании на растяжение в осевом направлении 80 % и более испытываемых образцов должны иметь пластичный характер разрушения, соответствующий I типу разрушения. Оставшиеся образцы могут иметь характер разрушения, соответствующий II типу, а характер разрушения III типа, демонстрирующий хрупкое разрушение, не допустим. Также в ходе испытаний технологических образцов ПЭ труб, удовлетворяющих требованиям, предъявляемым к качеству сварки, обязательно должно обеспечиваться условие удлинения образца в размере не менее 350%.

Механические испытания всех полученных нами технологических образцов дали 100 %-ный результат пластичного характера разрушения, соответствующий I типу разрушения, при величине удлинения от 500 до 600 %.

Выводы

1. Строительство газопроводных полиэтиленовых трубопроводов осуществляется с соблюдением требований соответствующей нормативной документации. Такие работы в целом являются весьма ответственными с точки зрения обеспечения качества и надежности для долговременной эксплуатации построенного объекта.

2. В данной работе определены требуемые параметры режимов сварки НИ труб из ПЭ систем газоснабжения

диаметром от 90 мм до 315 мм и на основе проведенного анализа выбрано оборудование, необходимое для процедуры сварки при единственном высоком давлении.

3. Экспериментальная проверка путем механических испытаний технологических образцов на осевое растяжение подтвердила высокое качество сварки НИ труб из ПЭ-100 диаметром 110 мм (SDR 11,0), выполненных по процедуре при единственном высоком давлении.

4. Высокое качество экспериментальных стыков труб из ПЭ-100 предполагает возможность использования машины «Волжанин-ССПТ-315» для сварки НИ труб из ПЭ всего регламентированного техническими характеристиками диапазона по сварочной процедуре при единственном высоком давлении.

Список литературы

1. Кимельблат В.И., Волков И.В., Жуков А.В. Технологические особенности сварки встык труб из разных марок полиэтилена // Территория Нефтегаз. 2015. № 4. С. 84-89.

2. Волков И.В., Кимельблат В.И. Процедуры и основные параметры сварки полиэтилена // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17. № 14. С. 293-296.

3. Волков И.В., Кимельблат В.И. Современное состояние и актуальные новации техники для сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т.17. № 16. С. 175-178.

4. Кимельблат В.И., Волков И.В., Стоянов О.В. Сварка полимерных труб и фитингов с закладными электронагревателями. Казань: КНИТУ, 2013. 156 с.

5. Кимельблат В.И. Трубопроводы из термопластов // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. 2014. № 1 (1). С. 72-92.

6. Данзанова Е.В., Герасимов А.И., Ботвин Г.В. Влияние параметров сварки на прочность сварного стыкового соединения полиэтиленовых труб // Полимерные трубы. 2015. № 3 (49). С. 48-52.

7. Фаттахов М.М. Применение труб из термопластов при строительстве и реконструкции распределительных трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2006. № 1. С. 12.
8. Volodin V.P. Extrusion multichannel, multi-layer, reinforced pipes and tubular profiles // Polymeric materials. March 2008. № 3 (106), p. 33.
9. Сайт ООО «АДР-Технология». URL: http://www.adr-t.ru/support/technology/butt_welding/.
10. Кимельблат В. И., Волков И. В. Проблемы нормативно-технической документации на контактную сварку полимерных труб встык // Сварка и диагностика. 2011. № 1. С. 58-61.
11. Кимельблат В.И. Сварка ПЭ труб: тенденции развития // Пластикс. 2014. №6 (135). С. 38-43.
12. Кимельблат В.И., Волков И.В., Чупрак А.И. Вариации реологических свойств как стимул оптимизации основных параметров сварки нагретым инструментом встык // Сварка и диагностика. 2012. № 2. С. 49–52.
13. Нестеров Г.Д., Нестерова Н.С. Информационная система для сварки полиэтиленовых труб // Вестник ИМСИТ. 2018. № 3 (75). С. 34-36.
14. Кимельблат В.И., Волков И.В., Мысяк Р.С. Направления развития визуально-измерительного контроля сварки нагретым инструментом встык // Вестник Технологического университета, 2015. Т.18. № 5. С. 56-59.
15. Волков И.В., Прокопьев Н.В., Кимельблат В.И. Как контролировать грат сварных соединений ПЭ труб встык? 1. Малые диаметры и толщины труб // Полимерные трубы. 2015. № 3 (49). С. 58-60.
16. Волков И.В., Прокопьев Н.В., Кимельблат В.И. Как контролировать грат сварных соединений пэ труб встык? 2. Средние и большие трубы // Полимерные трубы. 2015. № 4 (50). С. 54-59.
17. Ботвин Г.В., Данзанова Е.В., Герасимов А.И. Методика испытаний на прочность сварного соединения полипропиленовых труб // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. Т. 83. № 9. С. 70-72.
18. Demchenko V. L., Iurzhenko M. Peculiarities of constant magnetic field effect on the nanostructural organization and properties of hard-to-weld polyethylene-polypropylene joints // 2017 IEEE 7th International Conference Nanomaterials: Application & Properties (NAP). DOI: 10.1109/nap.2017.8190258.
19. Кимельблат В.И. Оценка качества сварных соединений и эксплуатационных характеристик полимерных трубопроводных систем // Ремонт, восстановление, модернизация. 2014. № 11. С. 13–16.

20. Demchenko V. L., Yurzenko M. V. Structure and properties of the welded joints of single-type polyethylenes formed under the action of constant magnetic fields // *Materials Science*. 2017. Is. 53(2). P. 186-193. DOI: 10.1007/s11003-017-0061-3.

21. Chebbo Z., Vincent M., Boujlal A., etc. Numerical and Experimental Study of the Electrofusion Welding Process of Polyethylene Pipes // *Polymer Engineering and Science*. 2015. Vol. 55. No. 1. P. 123-131.

22. Кимельблат В.И., Волков И.В., Глухов В.В. Оптимизация технологии контактной сварки встык. Учет свойств полимеров // *Полимерные трубы*. 2010. № 2 (28). С. 32-36.

23. Ботвин Г.В., Данзанова Е.В., Герасимов А.И. Методика испытаний на прочность сварного соединения полипропиленовых труб // *Заводская лаборатория. Диагностика материалов*. 2017. Т. 83. № 9. С. 70-72.

24. Юрженко М.В. Первичный контроль качества сварных соединений полиэтиленовых труб при сварке нагретым инструментом встык (обзор) // *Наукові нотатки*. 2019. № 66. С. 400-405.

References

1. Kimelblat V.I., Volkov I.V., Zhukov A.V. Tekhnologicheskie osobennosti svarki vстыk trub iz raznykh marok polietilena [Technological features of welding end-to-end pipes from different grades of polyethylene]. *Territoriya Neftegaz = Territory Neftegaz*, 2015, no. 4, pp. 84-89.

2. Volkov I.V., Kimelblat V.I. Protsedury i osnovnye parametry svarki polietilena [Procedures and main parameters of welding of polyethylene]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Kazan Technological University*, 2014, vol.17, no. 14, pp. 293-296.

3. Volkov I.V., Kimelblat V.I. Sovremennoe sostoyanie i aktual'nye novatsii tekhniki dlya svarki polietilenovykh trub nagretyim instrumentom vстыk [Current state and relevant innovations of the equipment for welding of polyethylene pipes heated tool end-to-end]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Kazan Technological University*, 2014, vol.17, no. 16, pp. 175-178.

4. Kimelblat V.I., Volkov I.V., Stoya O.V. *Svarka polimernykh trub i fittingov s zakladnymi elektronagrevatelyami* [Welding of polymeric pipes and a fitting with mortgage electric heaters: the monograph]. Kazan, KNITU Publ., 2013, 156 p.

5. Kimelblat V.I. Truboprovody iz termoplastov [Pipelines from thermoplastics]. *Polimery v stroitel'stve = Polymers in Construction*, 2014, no. 1 (1), pp. 72-92.

6. Danzanova E.V., Gerasimov A.I., Botvin G. V. Vliyanie parametrov svarki na prochnost' svarnogo stykovogo soedineniya polietilenovykh trub [Influence of parameters of welding on durability of weld abutting connection of polyethylene pipes]. *Polimernye truby = Polymeric Pipes*, 2015, no. 3 (49), pp. 48-52.

7. Fattakhov M.M. Primenenie trub iz termoplastov pri stroitel'stve i rekonstruktsii raspredelitel'nykh truboprovodov [Application of pipes from thermoplasts at construction and reconstruction of distributive pipelines]. *Neftegazovoe delo = Oil and Gas Business*, 2006, no. 1, pp. 12.

8. Volodin V.P. Extrusion multichannel, multi-layer, reinforced pipes and tubular profiles. *Polymeric materials*, March 2008, no. 3 (106), p. 33.

9. Website of LLC ADR-Tekhnologiya. Available at: http://www.adr-t.ru/support/technology/butt_welding/.

10. Kimelblat V.I., Volkov I. V. Problemy normativno-tekhnicheskoi dokumentatsii na kontaktuyu svarku polimernykh trub vtyk [Specifications and technical documentation problems on contact welding of polymeric pipes vtyk]. *Svarka i diagnostika = Welding and Diagnostics*, 2011, no. 1, pp. 58-61.

11. Kimelblat V.I. Svarka PE trub: tendentsii razvitiya [Welding of PE of pipes: development trends]. *Plastiks*, 2014, no. 6 (135), pp. 38-43.

12. Kimelblat V.I., Volkov I.V., Chuprak A.I. Variatsii reologicheskikh svoistv kak stimul optimizatsii osnovnykh parametrov svarki nagretym instrumentom vстыk [Variations of rheological properties as incentive of optimization of main parameters of hot tool welding end-to-end]. *Svarka i diagnostika = Welding and Diagnostics*, 2012, no. 2, pp. 49-52.

13. Nesterov G.D., Nesterova N.S. Informatsionnaya sistema dlya svarki polietilenovykh trub [An information system for welding of polyethylene pipes]. *Vestnik IMSIT = IMSIT Bulletin*, 2018, no. 3 (75), pp. 34-36.

14. Kimelblat V.I., Volkov I.V., Mysyak R.S. Napravleniya razvitiya vizual'no-izmeritel'nogo kontrolya svarki nagretym instrumentom vстыk [Directions of development of visual and measuring control of hot tool welding end-to-end]. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Technological University*, 2015, vol.18, no. 5, pp. 56-59.

15. Volkov I.V., Prokopyev N.V., Kimelblat V.I. Kak kontrolirovat' grat svarnykh soedinenii PE trub vстыk? 1. Malye diametry i tolshchiny trub [How to control a fin of weld joints of PE of pipes end-to-end? 1. Small diameters and thickness of pipes]. *Polimernye truby = Polymeric Pipes*, 2015, no. 3 (49), pp. 58-60.

16. Volkov I.V., Prokopyev N.V., Kimelblat V.I. Kak kontrolirovat' grat svarnykh soedinenii pe trub vстыk? 2. Srednie i bol'shie truby [How to control a fin of weld joints pe

pipes end-to-end? 2. Average and big pipes]. *Polimernye truby = Polymeric Pipes*, 2015, no. 4 (50), pp. 54-59.

17. Botvin G. V., Danzanova E.V., Gerasimov A.I. Metodika ispytaniy na prochnost' svarnogo soedineniya polipropilenovykh trub [Test procedure for durability of a weld joint of polypropylene pipes. Factory laboratory]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov = Factory Laboratory. Diagnostics of Materials*, 2017, vol. 83, no. 9, pp. 70-72.

18. Demchenko V. L., Iurzhenko M. Peculiarities of constant magnetic field effect on the nanostructural organization and properties of hard-to-weld polyethylene-polypropylene joints/2017 *IEEE 7th International Conference Nanomaterials: Application & Properties (NAP)*. DOI: 10.1109/nap.2017.8190258.

19. Kimelblat V.I. Otsenka kachestva svarnykh soedineniy i ekspluatatsionnykh kharakteristik polimernykh truboprovodnykh sistem [Assessment of quality of weld joints and utilization properties of polymeric pipeline systems]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya = Repair, Restoration, Modernization*, 2014, no. 11, pp. 13-16.

20. Demchenko V. L., Yurzhenko M. V. Structure and properties of the welded joints of single-type polyethylenes formed under the action of constant magnetic fields. *Materials Science*, 2017, is. 53(2), pp. 186-193. DOI: 10.1007/s11003-017-0061-3.

21. Chebbo Z., Vincent M., Boujlal A., etc. Numerical and Experimental Study of the Electrofusion Welding Process of Polyethylene Pipes. *Polymer Engineering and Science*, 2015, vol. 55, no. 1, pp. 123-131.

22. Kimelblat V.I., Volkov I.V., Glukhov V.V. Optimizatsiya tekhnologii kontaktnoi svarki vстыk. Uchet svoystv polimerov [Optimization of technology of contact welding end-to-end. Accounting of properties of polymers]. *Polimernye truby = Polymeric Pipes*, 2010, no. 2 (28), pp. 32-36.

23. Botvin G. V., Danzanova E.V., Gerasimov A.I. Metodika ispytaniy na prochnost' svarnogo soedineniya polipropilenovykh trub [Test procedure for durability of a weld joint of polypropylene pipes.]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov = Factory Laboratory. Diagnostics of Materials*, 2017, vol. 83, no. 9, pp. 70-72.

24. Yurzhenko M.V. Pervichnyi kontrol' kachestva svarnykh soedineniy polietilenovykh trub pri svarke nagretym instrumentom vстыk (obzor) [Primary quality control of weld joints of polyethylene pipes at hot tool welding end-to-end (overview)]. *Naukovi notatki*, 2019, no. 66, pp. 400-405.

Информация об авторах / Information about the Authors

Иванов Николай Иванович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Машиностроительные технологии и оборудование», Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ni1949@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3181-9364>

Nikolay I. Ivanov, Cand. of Sci.(Engineering), Associate Professor, Engineering Technology and Equipment Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ni1949@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3181-9364>

Чевычелов Дмитрий Александрович, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: dchevychelov@bk.ru

Dmitry A. Chevychelov, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: dchevychelov@bk.ru

Писевич Евгений Юрьевич, студент, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ievgen46@vk.com

Evgeny Yu. Pisevich, Student, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ievgen46@vk.com

Чевычелов Сергей Александрович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Машиностроительные технологии и оборудование», Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: tschsa@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8958-2191>

Sergey A. Chevychelov, Cand. of Sci. (Engineering), Head of the Machine-building Technologies and Equipment Department, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: tschsa@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8958-2191>

Разумов Михаил Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Машиностроительные технологии и оборудование», Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: mika_1984_@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2015-3322>, Researcher ID: N-3272-2016

Mikhail S. Razumov, Candidate of Engineering, Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Technology and Equipment, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: mika_1984_@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2015-3322>, Researcher ID: N-3272-2016