

УДК 621.644.073

А.В. Жуков, генеральный директор, ООО «АДР-Технология», e-mail: az@adr-t.ru

## Физические процессы в фитинге при сварке с закладными нагревателями

Регламент действий оператора при выполнении сварки ПЭ-труб фитингами с закладными нагревателями [4, 5] и даже особенности этих действий при сварке необычных фитингов [6] умозрительно понятны. Тем не менее на практике большинство проблем возникает из-за нерадивого выполнения этих действий оператором. Это происходит, в частности, из-за неполного понимания процессов, происходящих между фитингом и трубой во время сварки.

**Ключевые слова:** сварка с закладными нагревателями, фитинг с закладным нагревателем, аппарат для сварки с закладными нагревателями.

### 1. ТРЕБОВАНИЯ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ НОРМАТИВОВ

Нормативные документы [1, 2] определяют основные требования к ПЭ-фитингам с закладными нагревателями: материал, геометрию фитингов и контактов, методы и требуемые результаты испытания сварных соединений [1, 2, 3]. Ни один норматив в мире не определяет подробности конструкции: материал закладной спирали, плотность витков или глубину их залегания, метод внедрения спирали в поверхность или даже зазор между фитингом и трубой. Эти и многие другие данные – ноу-хау производителя. Между тем именно эти подробности отличают фитинги разных брендов друг от друга и определяют удобство монтажа, прочность и долговечность соединений, а также жесткость требований, предъявляемых к сварочному аппарату.

По сведениям автора, в настоящее время три производителя фитингов в мире используют собственную запатентованную технологию производства. Остальные платят за лицензию или используют более старые технологии с истекшим сроком патентной защиты.

### 2. СВАРКА – ВИД ИЗНУТРИ

Далее, когда будет идти речь о методе регулирования мощности нагрева, будем говорить о контролируемом на-

пряжении 0÷48 В, поскольку этот метод наиболее популярен.

После подачи напряжения на спираль начинается быстрый разогрев внутренней поверхности фитинга. Нагрев трубы пока можно не учитывать (рис. 1).

Полиэтилен внутренней поверхности фитинга переходит в вязкотекучее состояние, одновременно расширяясь. Глубокие слои фитинга пока холодные и представляют собой жесткий каркас. Поэтому материал внутренней поверхности фитинга, увеличиваясь в объеме, ищет выхода и заполняет зазор между трубой и фитингом и, наконец, обеспечивает тепловой контакт с наружной поверхностью трубы.

Далее происходит одновременный нагрев внутренней поверхности фитинга и наружной поверхности трубы, текучий материал по обе стороны закладной спирали увеличивается в объеме. Глубокие слои трубы и фитинга остаются холодными и жесткими. Поэтому расширяющийся

вязкотекучий материал выдавливается в зазоры холодных зон слева и справа от закладного нагревателя.

Глубокие слои трубы и фитинга постепенно прогреваются, становятся эластичными и слегка подаются, стабилизируя и определяя давление расплава. Когда тепло доходит до индикатора нагрева, давление расплава выдавливает стержень индикатора наружу и заполняет полость индикатора.

После отключения напряжения зона сварки начинает остывать за счет перераспределения тепла в глубокие слои фитинга и трубы. Температура во всех слоях фитинга и трубы постепенно выравнивается. Тепла, накопленного во время нагрева, достаточно для приведения всех слоев в высокоэластическое состояние.

Вязкотекучий материал в зоне сварки по мере остывания уменьшается в объеме. Труба и фитинг прогреты насквозь, они легко подаются в сторону отрицательного давления, компенсируя эту усадку.

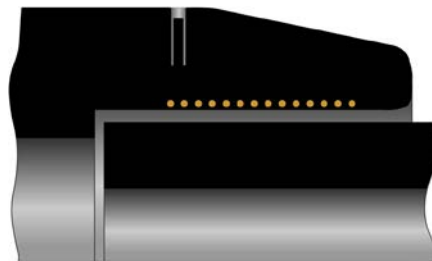


Рис. 1. Рисунок фитинга и трубы в разрезе

### 3. ГЕОМЕТРИЯ ФИТИНГОВ

Существенные размеры фитингов с закладными нагревателями (рис. 2) определяются таблицей [2] для различных номинальных диаметров фитингов.

Длина зоны нагрева  $L_2$  определяет минимальную площадь сварки, с тем чтобы

прочность соединения была не ниже прочности фитинга и трубы. Ее минимально допустимое значение рассчитано на трубы и фитинги с размерным соотношением SDR 7,4. Производитель может ее увеличить, но это не усилит трубопровод, зато увеличит требуемую мощность нагрева.

Если на фитинге предусмотрен упор трубы, его диаметр  $D_2$  должен быть не менее внутреннего диаметра трубы, чтобы упор не снижал полезное сечение трубопровода.  $D_2$  определяется производителем исходя из минимальной толщины стенки трубы, которую можно сварить с данным фитингом. Если упор легко удаляемый или отсутствует (ремонтная муфта), то  $D_2$  должен быть не менее  $D$ .

Длина наружной холодной зоны  $L_3$  должна быть достаточной для приема расплава. Нормативы требуют, чтобы эта зона была не менее 5 мм. Величина не самая критичная, поскольку возможный выход расплава наружу не повлияет на эксплуатационные характеристики трубопровода.

Длина внутренней холодной зоны – величина более важная, разлив материала внутрь фитинга совершенно недопустим. Нормативы определяют эту величину опосредованно, через  $\min$  и  $\max$  ограничение длины  $L_1$  захода трубы в фитинг. Ограничения для каждого диаметра подобраны таким образом, чтобы внутренняя холодная зона всегда была длиннее наружной.

Нормативы требуют, чтобы диаметр  $D$  был не менее  $D_n$ . Между тем зазор между фитингом и трубой должен быть достаточно малым для синхронизации начала нагрева трубы и фитинга, но достаточно большим для удобства совмещения фитинга с трубой, особенно с неидеально круглой трубой, в первую очередь при больших диаметрах и при низких температурах. Производитель на свое усмотрение ищет компромисс и учитывает величину зазора при определении параметров сварки (мощность и время нагрева). Зазор заметно отличается у разных производителей фитингов.

Для фитингов больших диаметров существует интересное решение. Зазор делают большим для удобства совме-

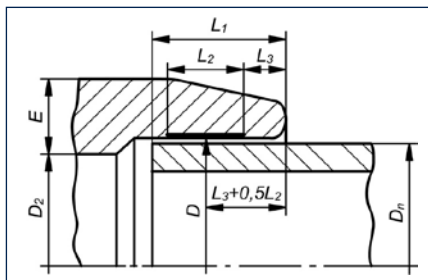


Рис. 2. Геометрия фитинга

щения. После совмещения торцы зазора заклеивают по кругу малярным скотчем для предотвращения выхода тепла, затем закладной нагреватель длительно прогревают низкой мощностью, стенка трубы прогревается насквозь. Температура нагрева – около 90 °С, достаточно для компенсации зазора. Большой фитинг – армированный снаружи (п. 5) – практически не расширяется. Параметры предварительного нагрева указывают в отдельном штрихкоде.

#### 4. ОТКРЫТАЯ ИЛИ ЗАКРЫТАЯ СПИРАЛЬ НАГРЕВАТЕЛЯ

Основные схемы расположения спирали:

- 1) так называемая закрытая спираль – витки полностью скрыты в полиэтилене на глубине 0,2–0,5 мм (рис. 3);
- 2) так называемая открытая спираль – витки утоплены в полиэтилен примерно на 2/3 их диаметра (рис. 4).



Рис. 3. Муфта с закрытой спиралью



Рис. 4. Седелка с открытой спиралью

Каждая схема имеет достоинства и недостатки. Во втором случае теоретически нагрев поверхности трубы начинается чуть раньше, особенно если зазор между трубой и фитингом мал. В первом случае спираль лучше защищена от механического повреждения при совмещении фитинга с трубой. Каждая схема имеет право на существование и зависит от технологических предпочтений производителя.

#### 5. УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ И ВРЕМЯ НАГРЕВА

Для определения удельной мощности (на единицу площади) и времени нагрева производитель учитывает толщину изделий (фитинга и трубы) и зазор между ними:

- общее тепло, выделившееся на спирали за время нагрева, должно быть достаточным, чтобы по окончании нагрева перераспределиться в глубокие слои фитинга и трубы, привести их в высокоэластическое состояние и позволить им без сопротивления усаживаться в направлении остывающего и сжимающегося материала в зоне сварки (п. 2);
- скорость выделения этого тепла (мощность нагрева) должна быть такой, чтобы к моменту растекания расплава в зоне сварки глубина прогрева фитинга и трубы была вполне определенной, уровень их эластичности регулирует давление расплава. Большая мощность – быстрый нагрев – маленькая глубина прогрева – высокое давление расплава – большое растекание, возможно, за холодные зоны.

Для толстостенных фитингов и труб применяют меньшую удельную мощность нагрева и большее время, для тонкостенных – наоборот. При большем зазоре между трубой и фитингом удельная мощность нагрева должна быть выше, время – меньше, эластичность стенок и компенсация давления расплава – ниже.

После расчетов и испытаний производитель кодирует оптимальные сварочные параметры в штрихкоде [11, 12], который клеит к фитингу.

Каждый фитинг без непроваров или, наоборот, разлива расплава может быть сварен с трубами определенного диапазона SDR. Сварочные параметры

производитель подбирает так, чтобы самая толстостенная труба диапазона по прочности соответствовала фитингу, а самая тонкостенная – как получится. Диапазон SDR труб должен быть включен в маркировку фитинга [1, 2].

Теоретически любой фитинг можно сварить с тонкостенной трубой, на которую он не рассчитан. Для этого необходимо вручную увеличить напряжение и уменьшить время нагрева.

У напорных фитингов большого диаметра зона нагрева и оптимальная мощность нагревателя оказываются слишком большими, для обеспечения оптимальной мощности пришлось бы использовать медную спираль большой толщины (п. 7) и требовать применения очень мощного аппарата, возможно, даже с питанием от промышленной 3-фазной сети. Поэтому здесь производители идут другим путем – ограничивают мощность и увеличивают время. Такой режим нагрева увеличивает глубину прогрева фитинга и снижает его каркасную жесткость во время растекания расплава. Для сохранения жесткости и обеспечения требуемого давления в зоне сварки на большие фитинги надевают специальные ремни, одноразовые или многоразовые. Или армируют фитинг снаружи металлической проволокой.

У муфт диаметром от 710 мм даже с увеличением глубины прогрева и использованием ремней совокупная мощность спирали оказывается слишком высокой. Поэтому на муфтах 710 мм и выше (у некоторых производителей – даже от 500) спираль разделена на две части, муфту приваривают последовательно – вначале к одной трубе, затем к другой.

### 6. ПЛОТНОСТЬ РАСПОЛОЖЕНИЯ ВИТКОВ СПИРАЛИ

Плотность расположения витков или равномерность нагрева по поверхности не регламентируется ни одним нормативом.

Рассмотрим противоположные случаи для одной и той же удельной (на единицу площади) мощности нагрева. При слишком редком расположении витков (рис. 5) расширяющийся полиэтилен неравномерно заполняет зазор, запирая большие пузырьки воздуха и образуя поры в шве. Дальнейший нагрев тру-

бы также неравномерный. Движение расплава в холодные зоны неспособно выдавить все пузырьки, в шве останутся поры.

Частое расположение витков обеспечивает равномерный нагрев и контролируемое заполнение зазора. Но тут проблема. С увеличением частоты витков пропорционально увеличивается длина спирали и, соответственно, ее сопротивление. Для сохранения общего сопротивления спирали придется увеличивать ее толщину (п. 7). В итоге между витками просто не останется места для полиэтилена. К тому же слишком частое расположение витков технологически сложнее для производителя. Задача производителя – найти компромиссное решение.

Другая опасность при редком расположении витков – для обеспечения заданной удельной мощности нагрева поверхности мощность каждого витка должна быть очень высокой. Это чревато локальным перегревом ПЭ и даже возгоранием.

На практике редкое расположение витков спирали – не главная причина наличия пор в сварном соединении. Основное влияние оказывает неровность поверхности трубы из-за использования напильников или наждачной бумаги для снятия оксидного слоя с трубы, хотя любые инструкции это категорически запрещают. В этом случае к порам добавляются еще и включения оставшегося окисленного ПЭ. Вот это «кармирование» шва!

### 7. МАТЕРИАЛ И ТОЛЩИНА СПИРАЛИ

Для спирали, в принципе, подходит любой металл с подходящим удельным сопротивлением, не за пределами температурным коэффициентом сопротивления и приемлемой ценой.

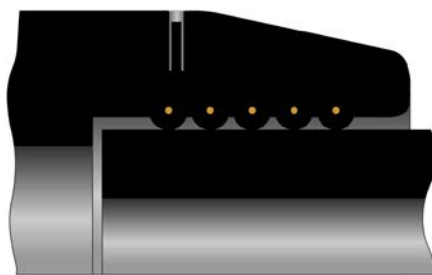


Рис. 5. Редкое расположение витков

Чаще всего используют медь. Медь, однако, имеет высокий температурный коэффициент сопротивления, при увеличении температуры спирали на  $\Delta T = 260 \text{ }^\circ\text{C}$  ее сопротивление вырастает вдвое.

При подаче напряжения спираль имеет температуру окружающей среды, ее сопротивление минимально, и пусковой ток  $I$  высок. С нагревом спирали сопротивление растет, а ток  $I$  и мощность нагрева  $P$  пропорционально снижаются (рис. 6).

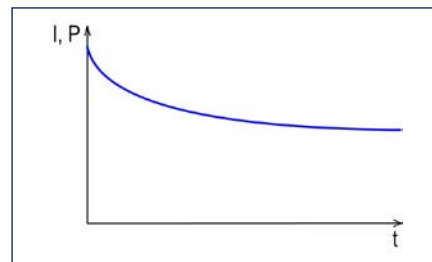


Рис. 6. Изменение тока и мощности при нагреве

Увеличение сопротивления спирали в течение сварочного процесса создает определенные неудобства для производителя сварочных аппаратов. Высокий пусковой ток действует недолго и не вносит решающего вклада в количество переданного тепла. Но какое-то время он все-таки действует, и сварочный аппарат должен быть в состоянии его обеспечить. А главное – за это время не должна сработать защита сети питания. Для уменьшения разницы между пусковым и долговременным сварочным током было бы логично подобрать для спирали металл с низким температурным коэффициентом сопротивления. Самое стабильное удельное сопротивление из всех «некосмических» материалов – у сплава никеля и хрома, температурный коэффициент в 15 раз ниже, чем у меди. Правда, цена нихрома в 3–4 раза выше. Но главная проблема в том, что удельное сопротивление нихрома при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  в 65 раз больше, чем у меди; при нагреве на  $\Delta T = 260 \text{ }^\circ\text{C}$  эта разница уменьшается почти вдвое, но все равно остается огромной. На фитингах больших диаметров (т.е. при большой длине спирали) пришлось бы использовать нихромовую проволоку в палец толщиной, чтобы сварочное напряжение в пределах 48 В обеспечило достаточный ток и мощность нагрева.



А вот у фитингов малых диаметров (до 160 мм) спираль намного короче, поэтому даже при небольшой толщине нихромовой спирали ее общее сопротивление не чрезмерное, и сварочное напряжение 20–40 В вполне обеспечивает требуемую мощность нагрева. Наоборот, использование меди на малых фитингах для многих производителей оказывается технологически сложным, поскольку медная спираль здесь должна быть тонкой, как волос.

Изменяя толщину спирали, производитель может варьировать сопротивление нагревателя и тем самым изменять предписанное напряжение нагрева, причем не изменяя мощности нагрева. Выбор напряжения сварки – компромиссное решение производителя.

У муфт-гигантов (Ø 1200–1600) даже с разделением спирали на две части возникает конфликт между слишком большой длиной спирали и слишком высокой требуемой мощностью нагрева. Для того чтобы 48-вольтовое напряжение обеспечило требуемую мощность нагрева, спираль (даже медная) должна была бы иметь огромную толщину, а витки пришлось бы располагать слишком редко (п. 6). Для решения этой проблемы производители фитингов пошли на непопулярный шаг – увеличили сварочное напряжение до небезопасных 79 В. А производители сварочных аппаратов начали выпускать аппараты с диапазоном сварочного напряжения 8÷79 В (нормативы [7, 8] предусматривают диапазон до 84 В).

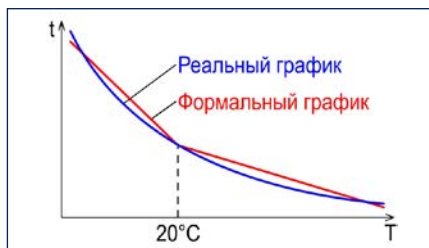


Рис. 7. Зависимость времени сварки от начальной температуры

Некоторые производители муфт-гигантов решают вышеописанную проблему примитивным способом: во-первых, уменьшают длину зоны сварки по сравнению с нормативными требованиями, снижая площадь сварки и необходимую мощность нагрева; во-вторых, увеличивают расстояние между витками, уменьшая длину спирали, со всеми негативными последствиями (п. 6). Только использовать такие муфты – себе дороже!

#### 8. УЧЕТ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ

К неконтролируемым условно отнесем параметры, которые не могут быть с достаточной точностью определены при производстве фитинга и окончательно проявляются только во время сварки. Производитель фитингов должен предусмотреть возможное влияние этих параметров и указать аппарату алгоритм реагирования.

##### Температура воздуха

Очевидно, что время, необходимое для нагрева до вытекания расплава в холод-

ные зоны, зависит от начальной температуры фитинга и трубы. Номинальное время нагрева, указанное в штрихкоде, рассчитано на исходную температуру  $T = 20^\circ\text{C}$ . А необходимая корректировка времени нагрева в зависимости от фактической исходной температуры с большой точностью описывается графиком на рисунке 7.

График с приемлемым допуском аппроксимируется общепринятыми коэффициентами:

- при  $T < 20^\circ\text{C}$  – увеличение времени на 0,7% на каждый градус;
- при  $T > 20^\circ\text{C}$  – уменьшение времени на 0,5% на каждый градус.

Если производитель обнаруживает, что для его фитинга коэффициенты температурной компенсации отличаются от общепринятых, он прописывает их в сварочном штрихкоде. А если коэффициенты температурной компенсации в штрихкоде не прописаны, аппарат использует общепринятые коэффициенты.

##### Температурный коэффициент сопротивления

Производителю известно табличное значение температурного коэффициента сопротивления металла, из которого он делает спираль. Поэтому он может просчитать увеличение сопротивления спирали при нагреве. Но если фактический температурный коэффициент отличается от табличного, мощность нагрева в самый критический момент может оказаться, например, меньше

## АППАРАТЫ ДЛЯ СВАРКИ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДО- И ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

- ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИЛЕР ЕВРОПЕЙСКИХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ
- КОНСУЛЬТАЦИЯ ПО ВЫБОРУ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ
- ОТГРУЗКА СО СКЛАДА В МОСКВЕ, ДОСТАВКА В РЕГИОНЫ
- ШЕФ-МОНТАЖ, ПУСКО-НАЛАДКА, ОБУЧЕНИЕ РАБОТЕ
- ГАРАНТИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ
- СДАЧА ОБОРУДОВАНИЯ В АРЕНДУ

ADR-Технология  
www.ADR-T.ru  
(495) 925-6150

**ADR**  
**TECH**

расчетной. Тогда разлив расплава не достигнет оптимальной стадии в расчетное время.

Для достижения идеального результата сварки производитель высчитывает оптимальное значение результирующего параметра – выделенного на нагревателе тепла – и заносит его в штрихкод. Далее аппарат при нагреве спирали постоянно рассчитывает фактически переданное тепло. У любого приличного аппарата процесс нагрева продол-

жается до тех пор, пока нагревателю фитинга не будет передано требуемое количество тепла (с учетом начальной температуры).

## 9. ВЫВОДЫ

Технические особенности фитингов, не регламентированные нормативами, определяются как минимум тремя обстоятельствами:

- предпочтениями производителя в компромиссных вопросах;

- правовой и технологической базой производителя;

- добросовестностью производителя. Задача потребителя – осознанно сформулировать собственные предпочтения и научиться распознавать возможный недобросовестный подход к проектированию и производству фитингов, а для этого – понять физические процессы, имеющие место в закладном нагревателе, в материале фитинга и трубы в течение всего сварочного цикла.

### Литература:

1. ISO 8085-3:2001 Polyethylene fittings for use with polyethylene pipes for the supply of gaseous fuels. Metric series. Specifications. – Part 3: Electrofusion fittings.
2. ГОСТ Р 52779-2007 «Детали соединительные из полиэтилена для газопроводов. Общие технические условия».
3. ISO 11413:2008 Plastics pipes and fittings – preparation of test piece assemblies between a polyethylene (PE) pipe and an electrofusion fitting.
4. DVS 2207-1 Heizelementstumpfschweißen von Rohren und Rohrleitungsteilen großer Wanddicke bzw. Durchmesser aus PE.
5. ISO/TS 10839:2000 Polyethylene pipes and fittings for the supply of gaseous fuels. Code of practice for design, handling and installation.
6. СТО Газпром 2-2.1-411-2010 «Проектирование, строительство и эксплуатация газопроводов давлением от 0,6 МПа до 1,2 МПа из полиэтиленовых труб».
7. ISO 12176-2:2008 Plastics pipes and fittings. Equipment for fusion jointing polyethylene systems. – Part 2: Electrofusion.
8. ГОСТ Р ИСО 12176-2-2011 «Трубы и фитинги пластмассовые. Оборудование для сварки полиэтиленовых систем». – Ч. 2: Сварка с закладными нагревателями.
9. ISO 12176-3:2011 Plastics pipes and fittings. Equipment for fusion jointing polyethylene systems. – Part 3: Operator's badge.
10. ISO 12176-4:2003 Plastics pipes and fittings. Equipment for fusion jointing polyethylene systems. – Part 4: Traceability coding.
11. 13950:2007 Plastics pipes and fittings. Automatic recognition systems for electrofusion joints.
12. ГОСТ Р ИСО 13950-2012 «Трубы и фитинги пластмассовые. Системы автоматического распознавания для выполнения соединений сваркой с закладными нагревателями».
13. РД 03-614-03 «Порядок применения сварочного оборудования при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов».

UDK 621.644.073

A.V. Zhukov, President, OOO «ADR-Technology», e-mail: az@adr-t.ru

### Physical processes in the fitting during electrofusion welding

*Actions of the operator prescribed for performing electrofusion welding [4, 5] and even specifics of these actions for welding unusual fittings [6] are conceptually clear. However, in practice the bigger part of problems occur from negligent performance of these actions by the operator. Such negligent performance is resulted particularly from imperfect understanding of the processes taking place between the fitting and the pipe during the welding process.*

**Keywords:** electrofusion welding, electrofusion fitting, electrofusion welding unit.

#### References:

1. ISO 8085-3:2001 Polyethylene fittings for use with polyethylene pipes for the supply of gaseous fuels. Metric series. Specifications. – Part 3: Electrofusion fittings.
2. GOST R 52779-2007 «Detali soedinitel'nye iz polietilena dlya gazoprovodov. Obtshie tekhnicheskie usloviya» («Polyethylene fittings for gas pipelines. General specifications»).
3. ISO 11413:2008 Plastics pipes and fittings – preparation of test piece assemblies between a polyethylene (PE) pipe and an electrofusion fitting.
4. DVS 2207-1 Heizelementstumpfschweißen von Rohren und Rohrleitungsteilen großer Wanddicke bzw. Durchmesser aus PE.
5. ISO/TS 10839:2000 Polyethylene pipes and fittings for the supply of gaseous fuels. Code of practice for design, handling and installation.
6. СТО Газпром 2-2.1-411-2010 «Proektirovanie, stroitel'stvo i ekspluatatsiya gazoprovodov davleniem ot 0,6 МПа do 1,2 МПа iz polietilenovykh trub» («Engineering, construction and operation of 0.6–1.2 МPa gas pipelines from polyethylene pipes»).
7. ISO 12176-2:2008 Plastics pipes and fittings. Equipment for fusion jointing polyethylene systems. – Part 2: Electrofusion.
8. GOST R ISO 12176-2-2011 «Truby i fittingi plastmassovye. Oborudovanie dlya svarki polietilenovykh sistem» («Plastic pipes and fittings. Equipment for polyethylene systems welding»). – Part 2: Svarka s zakladnymi nagrevatelyami (Electrofusion welding).
9. ISO 12176-3:2011 Plastics pipes and fittings. Equipment for fusion jointing polyethylene systems. – Part 3: Operator's badge.
10. ISO 12176-4:2003 Plastics pipes and fittings. Equipment for fusion jointing polyethylene systems. – Part 4: Traceability coding.
11. 13950:2007 Plastics pipes and fittings. Automatic recognition systems for electrofusion joints.
12. GOST R ISO 13950-2012 «Truby i fittingi plastmassovye. Sistemy avtomaticheskogo raspoznavaniya dlya vypolneniya soedineniy svarkoi s zakladnymi nagrevatelyami» («Plastic pipes and fittings. Automatic identification system to perform electrofusion welding»).
13. RD 03-614-03 «Poryadok primeneniya svarochного oborudovaniya pri izgotovlenii, montazhe, remonte i rekonstruktsii tekhnicheskikh ustroystv dlya opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov» («Procedure to use welding equipment when manufacturing, installing, repairing and reconstructing technical equipment for hazardous production facilities»).

