

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Тольяттинский государственный университет»

Институт Машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»
(наименование)

22.04.01. «Материаловедение и технологии материалов»
(код и наименование направления подготовки)

Профиль «Сварка и пайка новых металлических и неметаллических
(направленность (профиль))

неорганических материалов»

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему: Исследование влияния режимов на свойства сварных соединений при сварке полимерных трубопроводов.

Студент

А.В. Аржанцева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный руководитель

к.т.н., доцент К.В. Моторин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2020

Содержание

Введение.....	4
1 Анализ материалов из полиэтилена для производства трубопроводов	7
1.1 Свойства полиэтиленовых труб.....	7
1.2 Виды полиэтиленовых труб.....	11
1.3 Маркировка полиэтиленовых труб	13
1.4. SDR полиэтиленовых труб.....	14
2 Общие сведения о сварке полимеров.....	15
2.1 Суть сварки полимеров	15
2.2. Виды сварки пластмасс	16
2.3. Применение сварки.....	22
3 Анализ способов сварки полиэтиленовых трубопроводов.....	23
3.1 Особенности сварки полиэтилена	23
3.2 Обзор способов сварки полиэтиленовых труб.....	26
3.3. Оборудование для сварки полиэтиленовых труб	29
3.4. Описание способов сварки полиэтиленовых труб	37
4. Общие требования к сварным соединениям полимеров, выполненных различными способами.....	40
5. Параметры процесса сварки нагретым инструментом.....	45
6. Требования к контролю качества сварных соединений.....	50
6.1. Методика проведения ВиК	52
6.2. Методика проведения УЗК	57
6.3. Методика проведения механических испытаний.....	58
7. Экспериментальная работа по проведению сварки полиэтиленовых труб при различных температурах	60
7.1 Подготовка образцов для проведения эксперимента.....	60
7.2. Сварка контрольных сварных соединений.....	61
7.3 Контроль готовых контрольных сварных соединений	69
Заключение	85
Список используемой литературы и используемых источников.....	87

Приложение А Вспомогательное оборудование.....	91
--	----

Введение

Примерно с середины прошлого века более развитые страны начали использовать полиэтиленовые трубы при строительстве систем водоснабжения, газоснабжения и канализации. Прошло полвека, но трубы заложенные строителями еще в то время, служат людям и по сей день, не нуждаясь в реконструкции или замене. В странах, с неблагоприятными сейсмическими условиями подверженных землетрясениям и сдвигам земной коры, как Китай, Япония, Корея, Вьетнам, указом правительства все находящиеся под землей инженерные трубопроводные системы были реконструированы и заменены на полиэтиленовые трубопроводы. Решение это было принято с целью обеспечить безопасность и сохранность трубопроводных систем. Оседание строений, автомобильных дорог может вызвать технические повреждения стальных трубопроводов, свойства полиэтиленовых труб позволяют деформироваться до семи процентов, не препятствуя своим рабочим характеристикам [1].

Промышленное производство и применение пластмассовых труб началось в начале 50-х годов XX века. Трубы из полиэтиленовых материалов быстро заняли значительную часть рынка, так как, по сравнению с металлическими, обладали значительно меньшим весом, относительной простотой соединения, и самое важное, не были подвержены коррозии. К 1985 году объем выпуска пластиковых труб стал сопоставим с производством металлических. В итоге эти трубы получили широкое распространение в разных сферах, особенно в строительной, где они применяются при создании и ремонте систем водоснабжения, отопления различных типов зданий. Таким образом, в отечественной практике для строительства подземных трубопроводов пластмассовые трубы начали использоваться в 60-е годы. Сейчас в Российской Федерации наблюдается активное расширение использования термопластичных композитных материалов. С экономической точки зрения применения пластмассовых труб

для сооружения трубопроводов обладает неоспоримыми преимуществами: затраты на транспортировку в 2 раза меньше, чем на транспортировку стальных, масса полимерных труб более чем в 8 раз меньше массы металлических труб, стоимость выполнения строительно-монтажных работ даже при использовании традиционных открытых методов прокладки трубопроводов сокращается в 2-2,5 раза, так как не требуется дополнительных работ по защите от коррозии, большая эластичность полимерных труб позволяет легко вписывать их в поворот трассы, значительное сокращение сроков строительно-монтажных работ относительно стальных трубопроводов, отсутствие необходимости в дорогостоящих программах подготовки персонала, так как технология сварки и монтажа полимерных труб значительно проще. В настоящее время в нашей стране выпускается широкая номенклатура типов неметаллических труб и соединительных деталей.

Полиэтиленовые трубопроводы имеют ряд преимуществ перед металлическими: полиэтиленовые трубы обладают высокой степенью устойчивости к износу, воздействию влажности и агрессивных сред.

Важное качество полиэтиленовых труб – долгий срок службы, который в среднем составляет пятьдесят лет. При этом при длительной эксплуатации у труб повышаются эксплуатационные характеристики, в частности сглаживается внутренняя поверхность.

В настоящее время наиболее распространенным способом соединения полиэтиленовых труб при строительстве трубопроводов является сварка нагретым инструментом встык и сварка деталями с закладными электронагревателями.

Вместе с этим, действующая нормативная документация СП 42-103-2003 предписывает осуществлять сварку полиэтиленовых труб в диапазоне температур воздуха от минус 15 до плюс 45 градусов по Цельсию. При необходимости следует производить сварку в специальных укрытиях, где существует возможность обеспечить поддержание требуемой температуры

окружающего воздуха. В настоящее время существует серьезная потребность в разработке более технологичных и проще реализуемых способов сварки при отрицательных температурах, так как в регионах с холодным климатом низкие температуры могут сохраняться большую часть года. Также необходимо шире использовать возможности, которые предоставляют методы термоконтальной сварки.

Слабо применяются способы регулирования теплового процесса, который обеспечивает прочностные характеристики сварного соединения. Полимерные материалы обладают значительно меньшей теплопроводностью, чем металлические, поэтому во время проведения сварки полиэтиленовых труб, разрушающему термическому действию подвергается только ограниченная область свариваемой детали с изотермой в плюс 80° С. Кроме того разогретые участки полиэтиленовых материалов остывают значительно медленнее, чем участки металлических. В данной работе описывается метод, который не требует предварительного подогрева свариваемого изделия, а также создания и поддержания искусственным путем определенной температуры окружающего воздуха в зоне сварки при остывании сварного стыка.

Целью данной работы является:

- 1) подтверждение возможности выполнения высококачественной сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык при низких температурах среды в зоне сварки;

- 2) выбор наиболее оптимальных технологических режимов сварки для уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации полимерных трубопроводов.

В ходе выполнения работы были проанализированы способы сварки нагретым инструментом полиэтиленовых труб и сварки деталями с закладными электронагревателями с применением современного сварочного оборудования.

1 Анализ материалов из полиэтилена для производства трубопроводов

1.1 Свойства полиэтиленовых труб

В течение шести предыдущих лет в России присутствовала неизменная тенденция к росту строительства газопроводов из полимерных материалов и соответственно к снижению количества металлических. Все прогнозы указывают на то, что эта тенденция сохранится и в дальнейшем, несмотря на тяжелое экономическое положение в нашей стране.

«Полимеры – это высокомолекулярные вещества, молекулы которых состоят из повторяющихся структурных элементов-звеньев, соединенных в цепочки химическими связями. Следует иметь в виду, что характерные свойства полимеров могут быть реализованы только тогда, когда связи вдоль цепи намного прочнее поперечных связей, образующихся вследствие межмолекулярного взаимодействия любого происхождения. Именно в этом и состоит особенность строения полимерных молекул, что определяет весь комплекс специфических свойств полимеров, таких как способность к большим, длительно развивающимся обратимым деформациям; высокая конформационная гибкость цепи – упругость, эластичность; резкое изменение свойств при добавлении небольших количеств низкомолекулярных веществ, способность в высокоэластичном состоянии набухать под действие растворителя – высокая устойчивость к химически агрессивным средам; хорошие диэлектрические и теплоизоляционные свойства» [2]. «Полиэтилен – это термопластичный полимерный материал, который получают полимеризацией продукта переработки нефти – этилена, молекула которого полимеризуется в высокомолекулярное соединение [- CH₂-CH₂-]_n» [3].

«Полиэтилен (ПЭ, PE) – легкоперерабатываемый материал, имеющий на 50-85% (в зависимости от технологии изготовления) кристаллическую структуру. Относится к группе хорошо свариваемых материалов, поскольку

имеет температурный интервал вязкотекучего состояния (ΔT) более 70°C . Полиэтилен производится методом полимеризации углеводородного газа этилена. Но при переработке нефти образуются и другие ненасыщенные углеводороды: бутен, гексен и октен. При проведении сополимеризации этилена с вышеперечисленными гомологами боковые ответвления макромолекул получаются не случайной длины, а заранее заданной. В зависимости от количества добавляемого сомономера и его типа изменяется и количество образовавшихся ответвлений от основной цепи и, соответственно, по разному формируется кристаллическая структура полиэтилена и, следовательно, свойства конечного продукта.

При полимеризации чистого этилена образуется линейный полиэтилен без боковых ответвлений, называемый гомополимером. В случае сополимеризации этилена с бутеном образуются боковые ответвления от основной цепи длиной в 2 атома углерода, с гексеном – в 4 атома углерода, с октеном – 6 атомов углерода. Сополимеры полиэтилена имеют более высокие физико-химические характеристики по сравнению с гомополимером и, в частности, большие показатели длительной прочности» [4].

Согласно данным литературных источников [4], выделяют 3 типа полимера, отличающихся плотностью: «низкой, средней и высокой, г/см^3 :

- ПНП (PELD) – полиэтилен низкой плотности (полиэтилен высокого давления) – $0,910\text{-}0,925 \text{ г/см}^3$;

ПСП (PEMD) – полиэтилен средней плотности (полиэтилен низкого давления) – $0,926\text{-}0,940 \text{ г/см}^3$;

ПВД (PENH) – полиэтилен высокой плотности (полиэтилен низкого давления) – $0,941\text{-}0,965 \text{ г/см}^3$ ».

«Для газопроводов используют полиэтилены средней плотности и высокой плотности с бутеновым и гексеновым сополимерами, которые для данной цепи практически не имеют недостатков. Полиэтилен низкой плотности применялся в 60-х годах только на первых экспериментальных газопроводах и дальнейшего распространения не получил» [4].

«Порядок применения полимерных труб в системах газоснабжения, основные положения по безопасности их использования описаны в нормативно-правовой документации» [5].

Заслуженную популярность полиэтилен приобрел благодаря своим физико-химическим свойствам, обусловленным его химическим строением. Значения химических свойств полиэтилена представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Химические свойства полиэтилена

Свойство	Значение
Газопроницаемость	низкая
Паропроницаемость	низкая
Устойчивость к органическим и неорганическим кислотам	высокая (за исключением 50% раствора азотной кислоты)
Устойчивость к растворам солей	высокая
Взаимодействие со щелочами	не взаимодействует
Растворимость в органических растворителях	низкая (слегка разбухает)
Химические вещества, разрушающие полиэтилен	газообразный и жидкий фтор и хлор

Физические свойства полиэтилена находятся в сильной зависимости от его вида. Менее плотный полиэтилен высокого давления более мягкий, чем полиэтилен низкого давления. Он более эластичный, меньше страдает от разрывов и проколов, однако имеет более низкую температуру плавления. Полиэтилен низкого давления более твердый и прочный ввиду более высокой плотности. Значения физических свойств полиэтилена представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Физические свойства полиэтилена

Свойство	Значение
1	2
Цвет	от прозрачного до белого в зависимости от толщины
Запах	не имеет
Эластичность	высокая

Продолжение таблицы 2

1	2
Твердость	чем ниже плотность, тем мягче
Устойчивость к ударам	высокая
Эксплуатационные температуры, °С	от минут 70 до плюс 80
Температура плавления, °С	полиэтилен высокого давления – + 103-110 полиэтилен низкого давления - + 125-132
Поглотительная способность	низкая
Проводимость тока	не проводит
Температура хрупкости, °С	менее минус 100

Главный недостаток полиэтилена – это низкая устойчивость к старению под воздействием солнечного света и ультрафиолетовых лучей. Снижение негативного влияния данного свойства достигается путем добавления сажи и производных бензофенолов [6].

Довольно важным представляется собой значение предела текучести при растяжении, потому что оно устанавливает тот предел, по достижению которого пластическая масса испытывает необратимые изменения, при этом относительное удлинение составляет 16%. Разрыва наступает при нагрузке в 32 МПа, предел текучести при растяжении – 19 МПа.

Диапазон относительного удлинения колеблется в пределах от 800 до 1000%, таковые значения наблюдаются при скорости от 50 до 1000 мм/мин и температуре 20° С. Величина относительного удлинения динамична и находится в зависимости от скорости растягивания и температуры.

Коэффициент расширения стали в 10 раз меньше соответствующего коэффициента полиэтилена. Коэффициент расширения стали составляет 0,011, значение же аналогичного коэффициента у полиэтилена – 0,15 – 0,20. Это следует принимать во внимание при проектировании и строительстве трубопроводов из полиэтиленовых труб и соблюдать меры предосторожности.

Чем дольше полиэтилен подвергается постоянной деформации, тем меньше напряжение материала вследствие его адаптации к новому состоянию.

Одно из положительных свойств полиэтилена – его хорошие теплоизоляционные свойства. Коэффициент теплопроводности полиэтилена составляет 0,36-0,43 Вт/м°К. Однако, если мы рассматриваем подземные трубопроводы, наиболее значимыми являются теплоизоляционные свойства грунта.

1.2 Виды полиэтиленовых труб

Трубы из полиэтилена ПЭ 80 и ПЭ 100 предназначены для газопроводов, транспортирующих горючие газы, используемые в качестве сырья и топлива для промышленного и коммунально-бытового использования. Различают полиэтилен низкого давления трех классов: ПЭ 63, ПЭ 80 и ПЭ 100.

Полимеры специфичны тем, что обладают способностью деформироваться со временем под действием приложенных нагрузок. Срок службы трубопроводов зависит от скорости нарастания деформации. Срок службы тем больше, чем медленнее нарастает деформация. В свою очередь, скорость нарастания деформаций зависит от структуры материала, величины напряженного состояния и температуры, при которой эксплуатируется материал. Рисунок 1 демонстрирует график, показывающий зависимость тангенциальных напряжений (σ_t) в стенке труб от времени и температуры эксплуатации. Данный процесс носит название усталостной прочности. «Допустимое внутреннее давление (P_{max}) в трубопроводе определяется по формуле Кесселя:

$$P_{max} = \gamma_p * \sigma_t * 2s / (De - s), \quad (1)$$

где γ_p – коэффициент надежности по нагрузке;

De – наружный диаметр трубопровода;

s – толщина стенки трубы» [4].

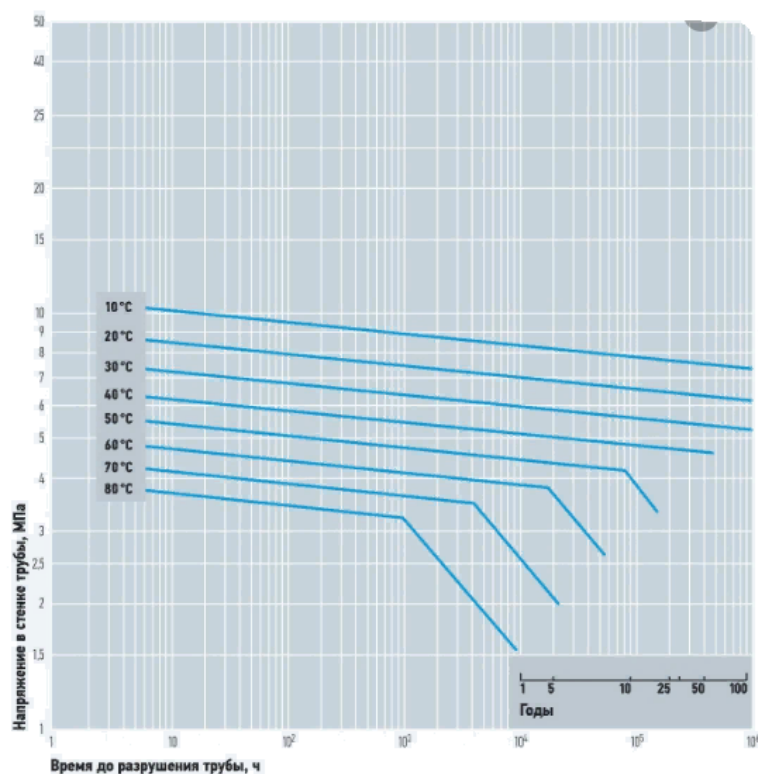


Рисунок 1 – Графики длительной прочности труб из ПЭ 80

«Таким образом, под долговечностью понимается способность материалов труб сохранять необходимый запас прочности к концу планируемого эксплуатационного периода при заданных давлении и температуре эксплуатации» [7]. Способность трубы выдержать определенное давление в течении 50 лет без потери своих качеств (без повреждений) для марки ПЭ 80 составляет 8 МПа; для марки ПЭ 100 составляет – 10 МПа.

За счет особенностей структуры полимера уровень прочностных свойств ПЭ 100 выше, чем у ПЭ 63 и ПЭ 80. Марки ПЭ 100 изначально разрабатывались для производства напорных труб газораспределения из-за чего материал имеет оптимальное сочетание жесткости и стойкости к распространению трещин [4].

Учитывая свойства отдельных марок полиэтилена, считается, что материал ПЭ 100 в большей степени подходит для изготовления изделий больших размеров, в то время, как ПЭ 80 – для изделий меньших размеров.

1.3 Маркировка полиэтиленовых труб

Маркировка видов предполагает наличие маркировки, которая может наноситься прямо на готовые изделия (рисунок 2). Обычно это запись, содержащая полные сведения о конкретной трубной продукции, где должны быть прописаны в следующей очередности:

- буквы ПЭ, указывающие на изготовление трубы именно из полиэтилена;
- индекс минимальной длительной прочности, стоящий сразу за «ПЭ»: ПЭ 100, ПЭ 80 и т. п.;
- коэффициент SDR, являющийся относительной величиной и указывающий на возможную нагрузку;
- наружный диаметр и величина толщины стенки в миллиметрах;
- назначения изделия прописью – питьевое либо техническое;
- номер стандартов ГОСТ, которым соответствует продукция;
- сведения (имя) изготовителя.

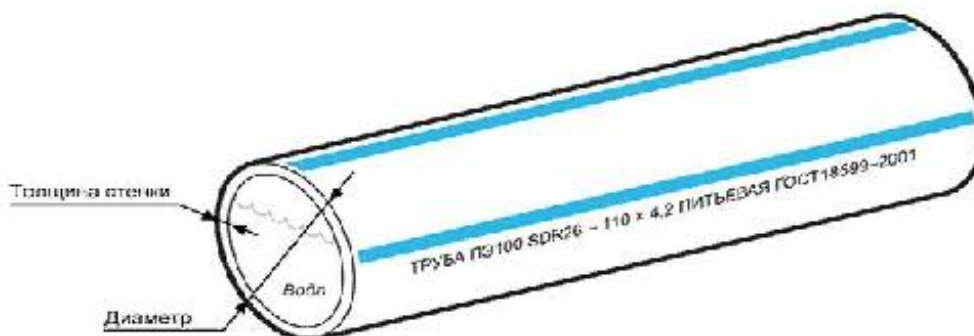


Рисунок 2 – маркировка полиэтиленовой трубы

1.4 SDR полиэтиленовых труб

SDR полиэтиленовых труб (Standard Dimension Ratio – стандартный размерный коэффициент) [8] – стандартное размерное отношение трубы, которое можно представить в виде отношения наружного диаметра трубы (номинального) к толщине стенки трубы (номинальной) (рисунок 3).

$$SDR = D/S, \quad (2)$$

где D – наружный диаметр трубы, мм

S – толщина стенки трубы.

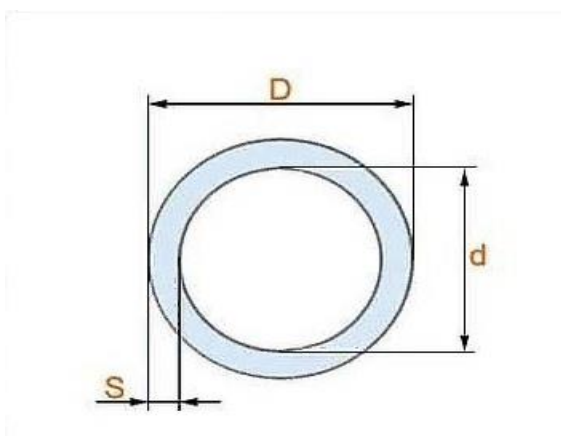


Рисунок 3 – соотношение SDR

Чем больше значение SDR, тем тоньше стенка полиэтиленовой трубы и, наоборот, с уменьшением SDR растет толщина стенки. В действительности SDR является стандартной величиной. Зависимость толщины стенки от наружного диаметра указана в таблице 3.

Таблица 3 – Зависимости толщины стенки от наружного диаметра

Наружный диаметр, мм	Толщина стенки, мм		
	SDR 9	SDR 9	SDR 9
63	7,6	5,8	3,6
90	10,1	8,2	5,2
110	12,3	10	6,3
160	17,9	14,6	9,1
225	25,2	20,5	12,8
315	35,2	28,6	17,9

2 Общие сведения о сварке полимеров

2.1 Суть сварки полимеров

«Среди всех видов соединений деталей сварка является одним из самых экономичных и надежных методов. Для изделий из пластмасс это утверждение тоже применимо в полной мере. Сварка, как правило, дает изделия хорошего качества, прочные, долговечные. При этом сам процесс может проходить как в промышленных условиях, так и в условиях кустарного производства или частного домохозяйства.

Существует несколько различных типов сварки пластиков, однако всех их объединяет общая суть. Тем или иным путем полимер разогревается, его макромолекулы приходят в движение и осуществляется диффузия полимерных компонентов друг в друга с последующим получением общего монолитного изделия.

Не все пластмассы, как и не все другие материалы, подходят для процесса сварки. Главным образом, она подходит для термопластов – полимеров, которые могут перерабатываться многократно путем нагрева, придания формы и охлаждения. Термопластичные материалы, в отличие от термореактивных пластмасс, имеют более подходящие для рассматриваемого процесса свойства. При повышенных температурах термопласты приходят в пластичное состояние и становятся пригодными для рассматриваемой технологии» [9].

Считается, что сварка полимеров имеет ряд неоспоримых преимуществ перед прочими методами соединения деталей, например, соединения крепежом, клеевые, а значит с ее помощью можно получить ровный, без дефектов сварной шов с ровным распределением внутренних напряжений [9].

2.2 Виды сварки пластмасс

В литературных источниках указано, что «в современной индустрии используются следующие разновидности сварки полимерных материалов:

- сварка нагретым газом, в том числе присадочным материалом (обычно прутком);
- контактная сварка;
- экструзионная сварка;
- излучением (световым, инфракрасным или лазерным);
- ультразвуковая;
- сварка трением;
- ТВЧ (токи высокой частоты)» [9].

Вкратце рассмотрим каждый вид технологии по отдельности.

Сварка нагретым инструментом

Сварка нагретым инструментом (контактная, термоконтактная) – это самый простой способ сварки полимерных деталей. Соединяемые поверхности нагреваются за счет контакта с нагретым инструментом. Данный тип сварки наиболее применяем при изготовлении изделий и конструкций из полимеров (трубопроводы, емкости, сосуды и др.)

Чаще всего используют способ прямого нагрева, суть которого заключается в следующем: свариваемые поверхности после зачистки нагревают и выдерживают в течение заданного времени с определенным технологией давлением.

Считается, что промежуток времени от удаления нагретого инструмента до сжатия поверхностей между собой должен быть минимальным. Это объясняется тем, что поверхности, контактирующие со средой быстро охлаждаются, что в итоге приводит к снижению прочности сварного соединения. В самом деле, процесс сварки пластиков гораздо сложнее и технологическая пауза – очень важный этап в процессе контактной сварки. Этот этап необходим для того, чтобы неравномерно разогретые

соединяемые поверхности пришли в состояние большего подготовленности к процессу диффузии. Время технологической паузы обычно не превышает нескольких секунд.

Помимо сварки нагретым инструментом с прямым контактом, используют бесконтактный метод сварки, при котором свариваемые образцы расположены очень близко к нагретому инструменту без непосредственного контакта (рисунок 4). Тепло от нагретого инструмента передается путем конвекции. В остальном бесконтактный метод не отличается от контактного: нагретый инструмент удаляется во время технологической паузы, а оплавленные поверхности соединяются под давлением и выдерживаются в течение времени охлаждения [10].

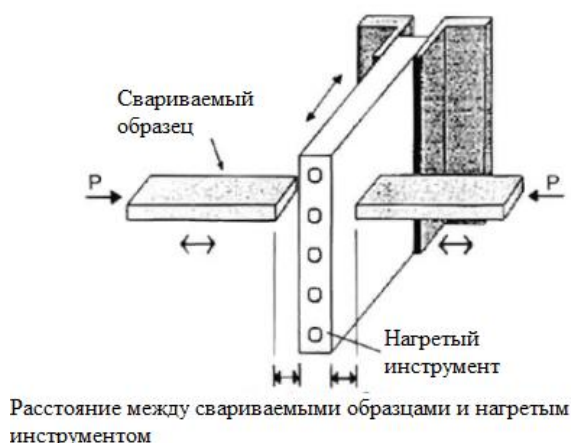


Рисунок 4 – бесконтактная сварка нагретым инструментом.

Кроме прямого нагрева, также распространен метод косвенного нагрева пластмассы и закладные нагреватели. Метод косвенного нагрева, как правило, используется для соединения труб большого диаметра. На концы труб устанавливается специальная муфта, в которую заранее помещается нагревательный элемент. После чего при подаче электричества от генератора полиэтилен на внутреннем слое муфты расплавляется и происходит

соединение поверхностей, в результате чего создается неразъемное трубное соединение.

К наиболее часто применяемым методам термоконтактной сварки полимеров можно отнести сварку «встык» и «враструб». Механизм сварки «встык» проще, что обуславливает его более частое использование.

«Аппараты для спаивания в раструб разогревают у одной детали, например трубы, наружную поверхность, а у другой, например фитинга, внутреннюю. Затем свариваемые детали устанавливаются на нагретую оснастку. А уже после выдержки технологического времени на оснастке (дорне и муфте) детали извлекаются и происходит их соединение. Такая технология очень популярная для спаивания труб для холодного и горячего водоснабжения из рандом сополимера полипропилена» [9].

Сварка горячим воздухом (нагретым газом)

Этот способ назван так, потому что в первых сварочных аппаратах воздух грелся при помощи газовой горелки. Но, с другой стороны, такой способ был опасным или нетехнологичным, и со временем в конструкцию сварочных аппаратов был добавлен электрический нагреватель. Устройства, производящиеся в наши дни, также электрические, что обеспечивает возможность высокоточной регулировки температуры процесса сварки, однако словосочетание «нагретый газ» так и осталось в названии процесса.

В настоящее время выделяют два типа сварки нагретым газом: с применением присадочного прутка и без применения присадочного материала.

С применением присадочного материала (рисунок 5) и без присадочного материала (рисунок 6).

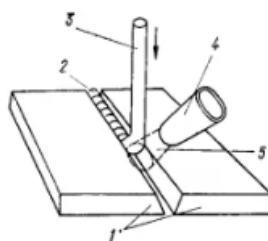


Рисунок 5 – Схема сварки пластмасс нагретым газом с применением присадочного материала

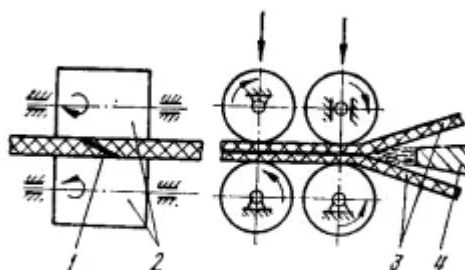


Рисунок 6 – Схема сварки нагретым газом листов без присадочного материала

Стоит отметить, что сварка горячим газом – процесс сложный. Применяется этот метод для соединения полимерных изделий (полиэтиленовых труб, пластмассовых плит, профилей и т.д.). Во время процесса сварки поверхность свариваемых деталей и сварочная проволока нагреваются горячим газом (воздухом) до достижения технологической температуры, и затем соединяются с применением давления. Нагретый воздух обычно поступает из фильеры сварочного агрегата.

Наиболее часто вышеописанный метод сварки используется для соединения таких термопластических материалов, как полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид разной твердости, АБС и ПММА, но, в то

же время, подходит для сварки любых термопластов. За редкими исключениями, сварка разных полимеров невозможна. В теории возможно соединение ПВХ и полиметилметакрилата, однако сварной шов при сварки данных термопластов получается непрочным.

Другие виды сварки полимеров

Сварка экструзионная. Суть этого метода следующая: в область сварки из экструдера подается сварочный материал в расплавленном виде. При этом сварочным материал должен быть тем же полимером, из которого изготовлены свариваемые детали. В экструдер непрерывно поступает присадочный материал в виде прутка.

Схема сварки расплавом, получаемым экструзией представлена на рисунке 7.

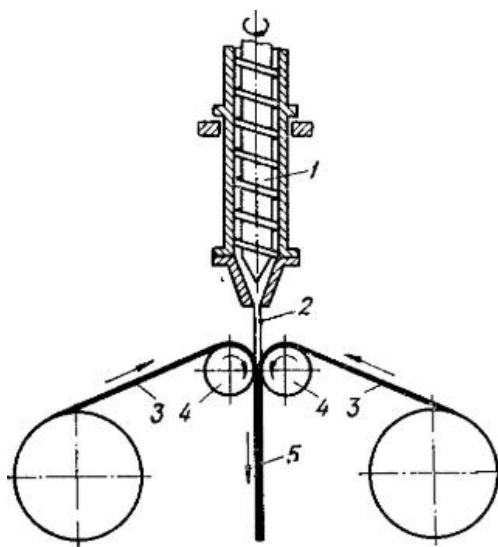


Рисунок 7 – Схема сварки расплавом, получаемым экструзией

Сварка растворителями. Суть метода состоит в соблюдении следующих технологических этапов: сначала свариваемые поверхности смачиваются растворителем, с последующим выжиданием паузы до набухания полимера; далее – свариваемые поверхности устанавливаются в контакт и выдерживаются под нагрузкой в течение технологического времени. Такая

сварка применяется для полимеров, нестойких к действию растворителей, как правило, аморфных термопластов.

Сварка трением. С помощью этого метода можно быстро и с малыми затратами получить прочное сварное соединение. Прекрасно подходит для тел вращения при соединении «враструб». Как правило одно из свариваемых изделий жестко закрепляется, а второе – надевается на вращающуюся оправку. Далее второе изделие перемещают в осевом направлении и соединяют с закрепленным изделием враструб. В результате трения свариваемые поверхности нагреваются до температуры плавления, после чего останавливаются с быстрым формированием прочного соединения. На рисунке 8 представлены инструменты для сварки трением с перемешиванием.



Рисунок 8 – Инструменты для сварки с перемешиванием

2.3 Применение сварки

Изделия, полученные при сварке различных полимеров, находят применение во многих сферах нашей жизнедеятельности. Так, например, из полипропилена изготавливают трубопроводы всех типов, уличную мебель, тару; из полиэтилены – трубопроводы, емкости, резервуары; из поливинилхлорида – облицовка, трубопроводы, водостоки; из АБС-пластика – чемоданы, детали бытовой техники.

Области, в которых применяется сварка полимеров, разнообразны. Это может быть и производство рекламных и выставочных конструкций, и строительство, сельское хозяйство, медицина. В настоящее время невозможно представить себе работу этих и многих других отраслей без продуктов, полученных при сварке полимеров.

3 Анализ способов сварки полиэтиленовых трубопроводов

3.1 Особенности сварки полиэтилена

Соединение полиэтиленовых труб и деталей между собой осуществляется при помощи сварки.

«Целью сварки полиэтиленовых труб является получение неразъемных соединений, равнопрочных основному материалу. В основе механизма образования сварного соединения полиэтиленовых труб лежит процесс активации макромалекулярных слоев на соединяемых поверхностях и создание контакта между ними. Активация происходит за счет нагрева свариваемых поверхностей с переходом полиэтилена в вязкотекучее состояние, контакт – за счет соединения разогретых поверхностей с приложением избыточного давления. В результате начинают протекать сдвиговые деформации (течение расплава), приводящие к диффузионным процессам между макромолекулами полиэтилена» [4].

Для проведения стыковой сварки полиэтиленовых труб необходимо стыковое сварочное оборудование. Различают несколько типов такого оборудования в зависимости от степени автоматизации: ручные, полуавтоматические и автоматические аппараты.

«Ручные аппараты самые простые, в основном они предназначены для сварки встык полиэтиленовых труб малого диаметра. Все параметры режимов сварки в ручных аппаратах устанавливаются непосредственно сварщиками, по таблицам сварки и процесс соединения двух труб осуществляется вручную.

Полуавтоматические аппараты уже имеют в своем составе гидравлическую систему, которая позволяет соединять две трубы не вручную, а с помощью гидравлической станции и гидравлического центризатора, что намного облегчает работу сварщика. Такие аппараты в основном используются для сварки полиэтиленовой трубы большого

диаметра в отличие от ручного. Однако в полуавтоматических аппаратах режимы сварки, так же выставляются непосредственно сварщиком.

Выставление параметров сварки вручную может приводить к ошибкам, которые влияют на качество свариваемого стыка. Для исключения влияния человеческого фактора были придуманы автоматические стыковые аппараты с компьютерным управлением процесса сварки. Режимы сварки выставляются автоматически, после того как сварщик введет диаметр, SDR и материал полиэтиленовой трубы. Далее автоматически аппарат осуществляет сварку сам без вмешательства человека.

Соблюдение режимов сварки согласно таблицам сварки приводит к качественному конечному стыку. В таблицах сварки указывается такие параметры:

- толщина стенки,
- давление сварки (давление которое добавляется к нулевому давлению),
- ширина первоначального грата;
- давление в стадии до нагрева трубы,
- время нагрева торцов трубы,
- время переналадки (время изъятия нагревательного элемента),
- время создания давления на стадии осадки трубы,
- время остывания стыка под рабочим давлением.

Еще один из параметров – это температура нагревательного элемента аппарата. Этот параметр является не менее важным для сварки трубы встык. Правильность выставления температурного режима зависит от материала, из которого изготовлена полиэтиленовая труба. Ниже приведены графики (рисунок 9) выставления температуры нагревательного элемента» [11].

Если полиэтиленовая труба изготовлена из материала ПЭ 80 то температура нагревательного элемента колеблется от 200°C до 220°C в зависимости от толщины стенки трубы.

Важнейшим фактором является равномерность температуры поверхности нагретого инструмента: разность температур на различных участках поверхности нагретого инструмента не должна превышать $\pm 5^{\circ}\text{C}$ [12].

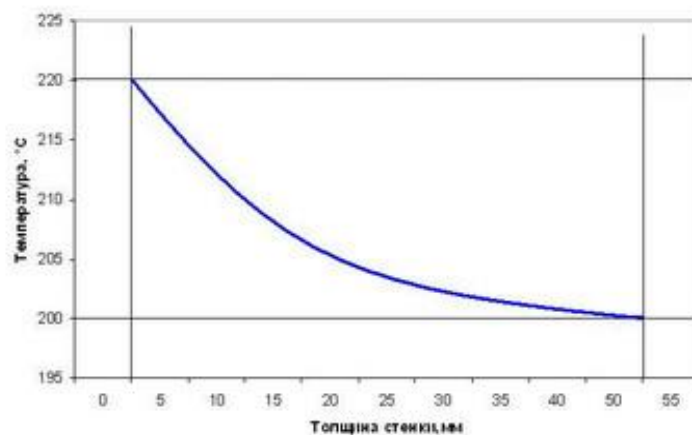


Рисунок 9 – Выбор температуры от толщины стенки полиэтиленовой трубы

Таблица 4 – Параметры технологического режима сварки полиэтиленовых труб встык

Толщина стенки, мм	Минимальная высота грата, мм	Время донагрева, сек	Максимальное время изъятия нагревательного инструмента, сек	Время стыкования, сек	Время остывания, мин
< 4,5	0,5	45	5	5	6
4,5-7,0	1,0	45-70	5-6	5-6	6-10
7,0-12,0	1,5	70-120	6-8	6-8	10-16
12,0-19,0	2,0	120-190	8-10	8-11	16-24
19,0-26,0	2,5	190-260	10-12	11-14	24-32
26,0-37,0	3,0	260-370	12-16	14-19	32-45
37,0-50,0	3,5	370-500	16-20	19-25	45-60
50,0-70,0	4,0	500-700	20-25	25-35	60-80

3.2 Обзор способов сварки полиэтиленовых труб

К процессу сварки полиэтиленовых труб предъявляются несколько основных требований:

- процесс сварки должен быть технически не сложным и экономически целесообразным;

- технология сварки должна обеспечивать прочность сварных соединений, сопоставимую с прочностью самих труб;

- технологические операции должны быть легко осуществимыми и в достаточной степени универсальными для надежного соединения труб с различными физико-механическими характеристиками;

- процесс получения сварного соединения должен «прощать» небольшие отклонения в соблюдении технологии сварки, в том смысле, что при этом обеспечивается высокое качество стыка, несмотря на погрешности в подгонке обрабатываемых под сварку торцов труб, в поддержании параметров сварки или в их корректировке при изменении внешних условий (что вполне осуществимо из-за интервала вязкотекучего состояния $\Delta T > 70^{\circ}\text{C}$);

- параметры сварки должны быть простыми с точки зрения запоминания характеристик сварочного процесса (числовых значений величин температуры нагрева, давления и времени) [13].

Применительно к сварке полиэтиленовых трубопроводов таким требованиям удовлетворяет сварка нагретым инструментом встык (рисунок 10) и сварка деталями с закладными нагревателями (рисунок 11).

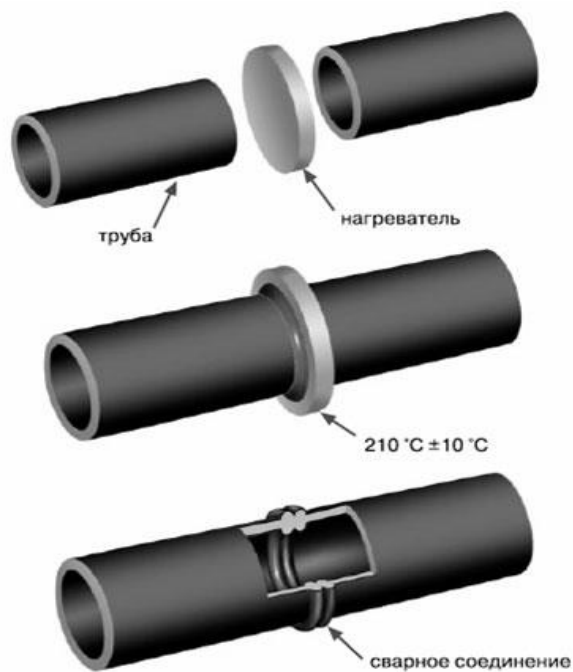


Рисунок 10 – Сварка труб встык

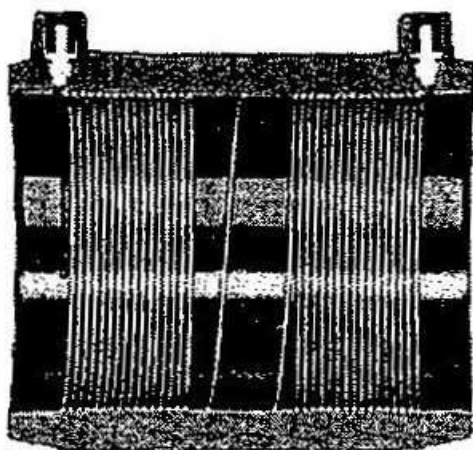


Рисунок 11 – Разрез муфты с закладным нагревателем фирмы «Friates»

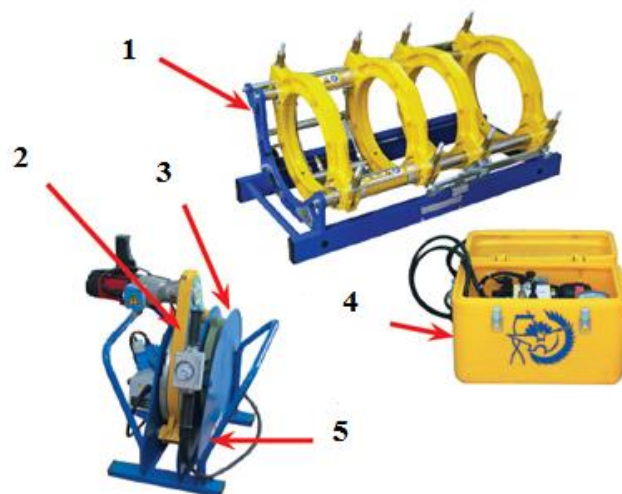
Сварка нагретым инструментом встык – способ получения неразъемных соединений полиэтиленовых труб, при котором трубы соединяются между собой оплавленными торцами. Оплавление торцов происходит в результате их предварительного контакта с нагревательным инструментом, удаляемым из зоны сварки.

Сварка нагретым инструментом встык заключается в нагревании свариваемых торцов труб или деталей до вязкотекучего состояния полиэтилена при непосредственном контакте с нагретым инструментом и последующим соединении торцов под давлением осадки после удаления инструмента.

Сварка деталями с закладными электронагревателями – способ получения неразъемных соединений полиэтиленовых труб, при котором трубы соединяются между собой при помощи специальных соединительных деталей (муфт, седловых отводов, тройников, переходов), имеющих на внутренней поверхности встроенную электрическую спираль из металлической проволоки. Получение сварного соединения происходит в результате расплавления полиэтилена на соединяемых поверхностях труб и деталей за счет тепла, выделяемого при протекании электрического тока по проволоке спирали.

3.3 Оборудование для сварки полиэтиленовых труб

Аппараты для стыковой сварки (рисунок 12) полиэтиленовых труб имеют несколько составных частей и включают в себя [6]:



1- центратор; 2 – торцеватель; 3 – нагреватель; 4 – гидросистема; 5 – подставка с блоком электропитания и кабелями

Рисунок 12 – Состав оборудования для сварки нагретым инструментом встык

Центратор (рисунок 13) базовый элемент машины, визуально напоминает крупный зажим, который особым образом захватывает обрабатываемые трубы и держит их в заданном положении. Верхние хомуты центраторов откидывания и работают в различных компоновках. Как правило, половина из этих зажимов подвижны, а оставшаяся часть прочно фиксирована на специальных направляющих. Достоинства центратора:

- широкая функциональность, не требуется приобретать направляющие отдельно для каждого диаметра;
- качественная и надежная фиксация соединяемых элементов;
- наличие двух модификаций – внутренний и наружный, что позволяет фиксировать отрезки в любых условиях и рабочих пространствах;

- обеспечение качественных сварных швов, которые являются залогом надежности трубопровода.



Рисунок 13 – Центратор для сварки полиэтиленовых труб

Торцеватель (рисунок 14) – дисковое вращающее устройство, предназначенное для механической обработки свариваемых торцов в процессе подготовки к сварке. Существует два вида торцевателей: электрический и с ручным приводом. Электрический торцеватель состоит из двух вращающихся дисков с установленными на них ножами, корпуса, электропривода. Торцеватель с ручным приводом состоит из двух вращающихся дисков с установленными на них ножами, рычага с толкателем. Торцеватели фиксируются на штоках центратора с помощью фиксатора. Ножи торцевателя, как правило, заточены с обеих сторон.



Рисунок 14 – Торцеватель для сварки полиэтиленовых труб

Нагревательный элемент, по другому – сварочное зеркало (рисунок 15) – крупный металлический диск, состоящий из двух нагреваемых поверхностей с антипригарным покрытием и электрического блока. На диске расположены упорные выступы, позволяющие установить нагревательный элемент на штоки центратора. Нагревательный элемент на основе резистивного плоского тела. С помощью этой разборки однородность теплового поля на теле диаметром до 315 мм составляет $\pm 2^{\circ}\text{C}$, а на больших диаметрах до 1200 мм не более $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Сборная конструкция аппарата позволяет разместить греющий элемент строго по центру тела нагревателя, за счет чего разница между температурой правой и левой поверхностей сокращается до 4°C . Более того, такая конструкция обеспечивает оперативную замену плоского элемента, а так же обновление поврежденного антипригарного покрытия. Это значительно повышает ремонтпригодность оборудования и увеличивает срок службы дорогостоящих частей нагревателя намного больше по сравнению с традиционными аналогами.

Температура нагревательного элемента устанавливается в соответствии с температурой плавления материала, из которого состоят свариваемые образцы. Обычно она колеблется в диапазоне от 30°C до 100°C выше температуры плавления полимера. Исключением является сварка нагретым инструментом при высоких температурах, при которой температура поверхности нагретого инструмента колеблется в пределах $300 - 400^{\circ}\text{C}$ [14].

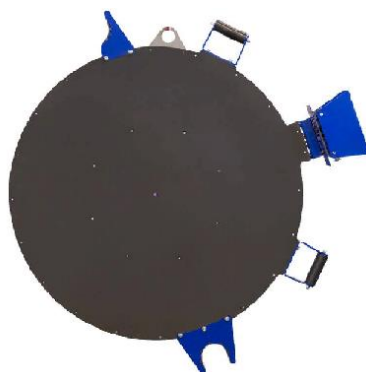


Рисунок 15 – Нагревательный элемент для сварки полиэтиленовых труб

Гидравлический привод (гидросистема) (рисунок 16) – оборудование, предназначенное для создания необходимого прижимного усилия на этапах сварочного процесса и управления центратором. Соединяется с центратором рукавами высокого давления с быстроразъемными соединениями.



Рисунок 16 – Гидравлический привод для сварки полиэтиленовых труб

Редукционные вкладыши (рисунок 17) – набор вставных полуколец для фиксации труб различных диаметров в подвижных и неподвижных зажимах центратора. Редукционные вкладыши определенного размера устанавливаются в хомуты центратора для фиксации труб любого меньшего диаметра. Как правило редукционные вкладыши относятся к дополнительному оборудованию.



Рисунок 17 – Редукционные вкладыши для сварки полиэтиленовых труб

Для проведения работ по сварке полиэтиленовых труб деталями с закладными нагревателями применяют сварочные аппараты, работающие от сети переменного тока напряжением 230 В.

Сварочный аппарат (рисунок 18) – устройство, с помощью которого выполняется сварка полиэтиленовых труб с использованием закладных нагревателей. В комплект входит: блок питания, блок управления процессом сварки, а также блок памяти. Блок питания служит для изменения характеристик подаваемого на аппарат от источника питания электрического тока, блок управления – задает требуемое напряжение и силу тока, время сварки. Благодаря сварочным аппаратам стала возможна работа без ограничения диаметра с фитингами любых производителей. Сварочные аппараты для электромужфтовой сварки могут определять и регистрировать типичные ошибки процесса сварки и выдавать их соответствующее условное обозначение на дисплей. Достоинства аппарата: защищенный, надежный и прочный корпус позволяет проводить работы даже в самых тяжелых полевых условиях, ввод параметров сварочного цикла – в ручную и автоматически, считыванием стандартного штрих-кода фитинга.

Аппарат способен контролировать весь процесс сварки, регистрируя параметры электромужфтовой сварки, возможные сбои и ошибки. Принцип работы сварочного аппарата – диалог с оператором, при котором оператор в зависимости от выбранной степени прослеживаемости, контролирует четкое прохождение этапов сварочного цикла.



Рисунок 18 – Сварочный аппарат

Автономный электрогенератор (рисунок 19) – это мобильная электростанция с двигателем внутреннего сгорания, задача которой – вырабатывать электрический ток в автономном режиме, обеспечивая тем самым работу сварочного аппарата и вспомогательного оборудования.



Рисунок 19 - Электрогенератор

Позиционер (рисунок 20) выполняет функцию фиксации труб как на время сварки, так и на время последующего охлаждения. Состоит из жесткой металлической станины и металлических захватов. Захваты могут подгоняться под форму и диаметр свариваемых труб с помощью винтов и редукционных вкладышей. Разливают следующие разновидности позиционеров, в зависимости от свариваемых деталей:

- для муфт;
- для тройников и отводов;
- для заглушек;
- для седловых отводов;
- для длинномерных труб;
- калибрующие зажимы.



Рисунок 20 - Позиционер

Калибрующий зажим (рисунок 21) – стальная трубка или хомут для устранения овальности полимерных труб путем сдавливания.



Рисунок 21 – Калибрующие зажимы

На рисунке 22 показано вспомогательное оборудование. К нему относятся: гильотина, скребки, торцовочные оправки, ротационные шаблоны, гидравлический выпрямитель.



Рисунок 22 – Вспомогательное оборудование

Информация по сварочному и вспомогательному оборудованию для монтажа трубопроводов приведена в приложении А.

Рассмотрим самый прогрессивный и распространенный на сегодня способ сварки полимерных листов – сварка полимерных материалов горячим клином внахлест. Суть сварки полимерных материалов внахлест горячим клином в том, что при помощи керамического, стального или медного клина производится локальный нагрев (до температуры плавления) места сварки, затем разогретые поверхности полимерных листов под давлением прижимных роликов соединяются. В результате сварки полимеров образуется сварной шов, который в зависимости от комплектации сварочного аппарата, может быть либо одинарным, либо двойным, с проверочным каналом или без такового. Сварка полимерных листов осуществляется только специальным профессиональным оборудованием (аппаратами) для термической сварки полимеров [15]. Наряду со сваркой полимеров методом горячего клина широкое распространение получила сварка внахлест горячим воздухом. Данный вид сварки полимерной осуществляется специальными сварочными аппаратами горячего воздуха, оборудованными щелевыми насадками. Сварка горячим воздухом внахлест производится следующим

образом: устанавливается наружная температура сварки, запускается подача воздуха, после чего щелевая насадка заводится между двумя полимерными листами и медленно продвигается вдоль шва. Доведенные потоками горячего воздуха до пластичного состояния полимерные листы тут же прикатываются специальным силиконовым валиком. Этот метод считается самым доступным и простым, но требует высокого мастерства, потому что не имея нужного навыка невозможно двигать аппарат по шву с постоянной скоростью, одновременно с этим совершая поступательные движения прикаточным валиком.

3.4 Описание способов сварки полиэтиленовых труб

Порядок действий для осуществления сварки нагретым инструментом встык следующий:

- первым этапом замеряется давление холостого хода. Под давлением холостого хода понимается давление, необходимое на перемещение подвижного зажима с установленной в нем трубой;

- далее происходит установка нагревательного инструмента, нагретого до заданной температуры, между торцами труб;

- следующий этап – оплавление. На этом этапе торцы труб прижимаются к нагревателю с требуемым давлением оплавления, при этом необходимо учитывать давление холостого хода. Давление оплавления выдерживается в течение времени оплавления, т.е. до того момента, пока по всему периметру оплавленных торцов не появится первичный грат высотой не более 1,5 мм;

- с момента появления первичного грата давление необходимо снизить до величины давления нагрева (при этом учитывается давление холостого хода) и выдержать его в течение времени нагрева;

- затем по завершению этапа нагрева после предварительного отведения подвижного зажима центратора на 5-6 см назад производится удаление нагревательного инструмента из зоны сварки. Этот этап носит название технологической паузы;

- на следующем этапе торца труб сводятся до соприкосновения и создается давление осадки (при этом учитывается давление холостого хода). Давление осадки выдерживается в течение времени охлаждения. Под временем охлаждения понимается время, необходимое для остывания стыка. По завершению этого этапа полученное сварное соединение подвергается визуальному контролю по размерам и конфигурации грата;

- на заключительном этапе выполняют извлечение трубы из зажимов центратора, сварному соединению присваивается номер.

Теперь рассмотрим порядок действий при сварке труб с помощью соединительных деталей с закладными нагревателями:

- на первом этапе необходимо ввести внутрь соединительной детали обработанные концы труб (концы труб обязательно вводятся до упора);

- далее трубы с соединительными деталями закрепляются в позиционере. Позиционер позволяет установить, сцентрировать, устранить эллипсность и зафиксировать свариваемые трубы с установленной на них деталью (рисунок 23);

- на следующем этапе сварочный аппарат подключается к электрической сети, а сварочный кабель присоединяется к выходам детали;

- после внесения в память аппарата выбранного режима запускается процесс сварки путем нажатия кнопки «пуск»; после того как цикл сварки запущен весь технологический процесс проходит в автоматическом режиме;

- процесс сварки, а также образование сварного соединения обязательно должны находиться под визуальным контролем (по дисплею аппарата и по выдвигению индикатора сварки);

- на последнем этапе после окончания сварки необходимо извлечь трубы из зажимов позиционера, что производится после естественного остывания сваренного соединения [16].

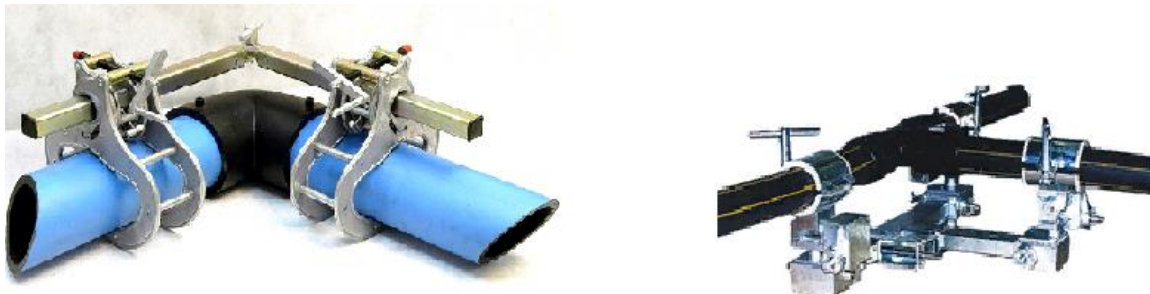


Рисунок 23 – Позиционеры для сварки деталей муфтового типа и седловых отводов

4 Общие требования к сварным соединениям полимеров, выполненным различными способами

«Сварка нагретым инструментом встык является основным способом соединения полимерных труб» [17]. «Согласно действующим нормативным документам, качество сварки проверяется следующими методами испытаний.

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» [16].

Анализ этих методов показывает, что ни один из них не дает количественной оценки прочности сварного соединения по стыку сварки [18].

«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» [18].

На данный момент, единственный способ оценить качество сварного соединения – испытание на осевое растяжение. «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» [19].

По мнению авторов [20]: «ультразвуковой контроль, пневматические испытания, испытания на статический изгиб, испытания при постоянном внутреннем давлении, испытания на длительное растяжение являются с количественной стороны недостаточно информативными». Так, с помощью ультразвукового контроля должны выявляться внутренние дефекты типа несплавлений, трещин, отдельных или цепочек (скоплений) пор, включений площадью более $1,5 \text{ мм}^2$. Наряду с пневматическими испытаниями проводятся испытания 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 на изгиб на угол не менее 160° . В работе [18] было установлено: «результат таких испытаний положительный даже в случае сварных соединений, выполненных с грубыми нарушениями технологического режима сварки. 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». Помимо этого проводят один из наиболее информативных методов (согласно международному стандарту ISO 13952 и инструкции DVS 2203-4 немецкого союза сварщиков) – испытание на длительное растяжение в активной среде. Главный недостаток этого метода – невозможность количественно определить прочность сварного соединения по месту сплавления, т.к. во время испытаний фиксируется время до разрушения [21]. «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. 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» [22]. В своей работе Е. В. Данзанова описывает следующие результаты экспериментальной работы [18]: «повышение давления при нагреве уменьшает прочность, однако при давлении нагрева, равном давлению при осадке, получается увеличение разрушающего напряжения сварного соединения по стыку. Данный факт является очень интересным, и поэтому направлению будут проведены дополнительные исследования. В то же время очень странным является наименьшая величина прочности сварного шва при рекомендованном значении давления при осадке – 4,4 атм. Увеличение продолжительности нагрева приводит к увеличению прочности, что, видимо, объясняется увеличением площади грата.

Увеличение продолжительности технологической паузы в 2-4 раза при комнатной температуре для данного типоразмера полиэтиленовой трубы не приводит к снижению прочности сварного шва. Уменьшение времени охлаждения стыка под давлением осадки не влияет на прочность сварного шва.

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. А это значит, что температура глубинных слоев торца трубы после оттеснения

поверхностного материала в грат еще выше, чем и объясняется высокая прочность стыка сварки при больших значениях технологической паузы. В работе 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 110x10. 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».

В справочнике под редакцией Зайцева К. И. [23] приводится следующая характеристика сварки полимеров. Сегодня сварка полимеров – самый часто используемый метод получения прочных сварных соединений. Во время процесса сварки происходит образование неразрывного соединения. Образование такого соединения обусловлено следующими двумя процессами: химическим взаимодействием (химическая сварка) или взаимной диффузией (диффузионная сварка) макромолекул полимерных материалов. В результате этих процессов исчезает граница раздела между свариваемыми материалами и образуется структурный переход от поверхности одного полимера к поверхности другого. Сварка полимеров в наши дни незаменима для работы многих отраслей, а именно: строительство, промышленное производство, медицина, пищевая промышленность и т.д. Одними из важнейших характеристик полимерных материалов являются высокая теплоемкость и низкая теплопроводность. Исходя из этого сварка полимеров возможна только в температурном интервале, при котором материал находится в вязкотекучем состоянии (температура нагрева, температура оплавления). Качество сварных соединений, полученных в процессе сварки, находится в прямой зависимости от условий реализации

процесса, совместимости самих полимеров и строения полимерной фазы. Существует большое количество различных методов сварки, однако самыми распространенными на сегодняшний день являются: сварка нагретым газом, контактно-тепловая, ультразвуковая, высокочастотная и термоимпульсная.

Для скоростной сварки полимерной пленки разработаны ручные, полуавтоматические и автоматические сварочные аппараты. В последних двух агрегатах возможно регулирование скорости, а также температуры нагрева. Сварочный аппарат ТН-501 способен создавать швы как на горизонтальных или наклонных, так и на вертикальных поверхностях. Свариваемый материал заводится с двух сторон аппарата сверху и снизу клина, после опускания рукояти мембрана зажимается прижимными роликами и клин переводится в рабочее состояние. Плавная регулировка скорости сварки позволяет получить качественное соединение при сварке Т-образных швов.

5. Параметры процесса сварка нагретым инструментом.

Технологии сварки, используемые при монтаже и ремонте, должны иметь свидетельство НАКС об аттестации согласно требованиям РД 03-615-03 «Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов» [24].

Сварка полиэтиленовых труб производится нагретым инструментом при толщине стенки труб не менее 5 мм [16].

Основными параметрами сварки являются:

- температура нагретого инструмента,
- продолжительность оплавления и нагрева,
- давление нагретого инструмента на торцы при оплавлении и нагреве,
- продолжительность технологической паузы между окончанием нагрева и началом осадки,
- давление на торцы при осадке,
- время охлаждения сваренного стыка под давлением осадки,
- для машин со средней и высокой степенью автоматизации дополнительно необходим параметр - время нарастания давления осадки (таблица 5).

Таблица 5 - Время нарастания давления осадки, сек, для труб ПЭ80, ПЭ100

Сортамент свариваемых труб по ГОСТ Р 50838		Время, сек
Стандартное размерное отношение	Диаметр и толщина стенки трубы, мм	
SDR11	110×10	4-8

Согласно нормативным документам [25]: «температуру рабочей поверхности нагретого инструмента выбирают в зависимости от материала свариваемых труб» (таблица 6).

Таблица 6– Температура рабочей поверхности нагретого инструмента, °С

Параметр	Температура окружающего воздуха, °С и тип полиэтилена					
	от -15 до 0		от 0 до +20		от +20 до +45	
	ПЭ100	ПЭ80	ПЭ100	ПЭ80	ПЭ100	ПЭ80
Температура рабочей поверхности инструмента	230±10	220±10	220±10	210±10	210±10	200±10

Продолжительность оплавления, как правило, не нормируется и зависит от появления первичного грата.

Оплавление и нагрев торцов свариваемых труб выполняется одновременно посредством их контакта с рабочими поверхностями нагретого инструмента. Оплата торцов необходимо выполнять при давлении $P_{оп}=0,2\pm 0,02$ МПа в течение времени $t_{оп}$, достаточного для образования по всему периметру контактирующих с нагревателем торцов труб валиков расплавленного материала (первичного грата) высотой не менее:

1,0 мм при толщине стенки труб от 5 до 10 мм;

После появления первичного грата давление необходимо снижать до $P_{н}= 0,02\pm 0,01$ МПа и торцы нагревать в течение времени $t_{н}$, которое в зависимости от сортамента (толщины стенки) труб, температуры окружающего воздуха T° . На таблице 7 отражен интервал времени нагрева торцов труб. Допустимым является снижение давления $P_{н}$ до минимума при сохранении пространства контакта торцов труб с нагретым инструментом.

Таблица 7 – Время нагрева торцов труб, t_n , сек, из ПЭ80, ПЭ100

Сортамент свариваемых труб по ГОСТ Р 50838		Температура окружающего воздуха, T_o , °С и время нагрева, сек		
Стандартное размерное отношение	Диаметр и толщина стенки трубы, мм	от -15 до 0	от 0 до +20	от +20 до +45
SDR11	63x5,8 – 75x6,8	75-110	60-105	50-95
	90x8,2 – 110x10	100-140	85-140	70-125
	125x11,4 – 140x12,7	120-170	100-165	80-150
	160x14,6 – 180x16,4	155-210	135-200	105-185
	200x18,2 – 225x20,5	190-260	160-250	125-225

В соответствии с нормативными документами [25], «продолжительность технологической паузы, необходимой для удаления нагретого инструмента, должно быть минимальной, не более:

- 3 сек для труб с наружным диаметром до 63 мм;
- 4 сек для труб с наружным диаметром от 90 до 140 мм;
- 5 сек для труб с наружным диаметром от 160 до 225 мм».

После удаления нагретого инструмента торцы труб сводят и производят осадку стыка при давлении $P_{oc} = 0,2 \pm 0,02$ МПа. Осадку стыка необходимо осуществлять плавным увеличением давления до заданного уровня.

Охлаждение стыка необходимо производить под давлением осадки в течение времени $t_{охл}$, в зависимости от толщины свариваемых труб и температуры окружающего воздуха. Таблица 8 отображает время охлаждения стыка.

Таблица 8 – Время охлаждения стыка $t_{охл}$, мин, не менее, труб из ПЭ80, ПЭ100

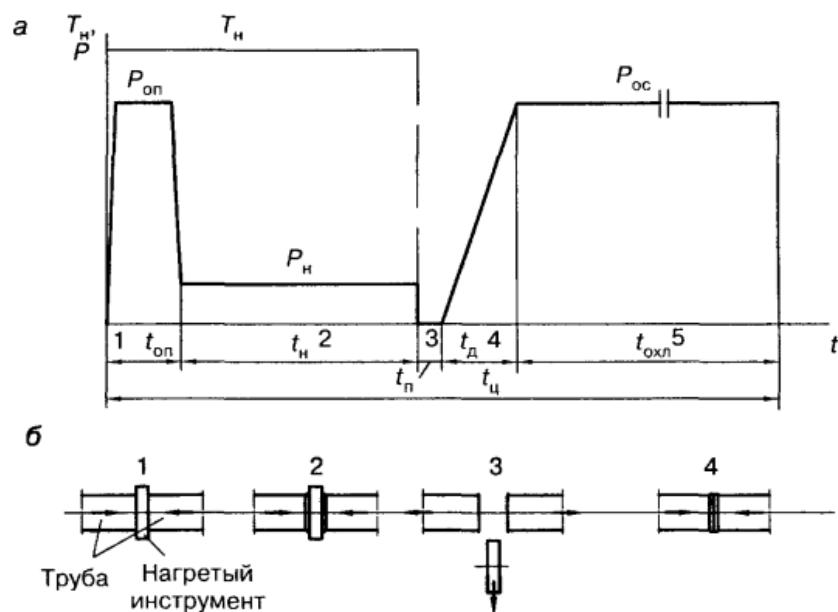
Сортамент свариваемых труб по ГОСТ Р 50838		Температура окружающего воздуха, °С и время охлаждения, мин		
1	2	3	4	5
Стандартное размерное отношение	Диаметр и толщина стенки трубы, мм	от -15 до 0	от 0 до +20	от +20 до +45

Продолжение таблицы 8.

1	2	3	4	5
SDR11	63×5,8 - 75×6,8	4-5	5-6	6-7
	90×8,2 - 110×10	6-7	7-8	8-9
	125×11,4 - 140×12,7	8-11	10-13	12-15
	160×14,6 - 180×16,4	11-14	13-16	15-18
	200×18,2 - 225×20,5	16-21	18-23	20-25

Согласно пункту 6.64 СП 42-103-2003: «с целью повышения точности поддержания заданных давлений ($P_{оп}$, $P_{н}$, $P_{ос}$) в процессе сварки необходимо учитывать потери на трение движущихся частей сварочной машины и перемещаемой при сварке трубы (секции). Для этого перед сваркой каждого стыка производят замер усилия при холостом ходе подвижного зажима центратора машины с закрепленной в нем трубой, который суммируется с усилием, необходимым для создания заданных давлений. Для уменьшения потерь на трение рекомендуется использовать переносные и регулируемые по высоте роликовые опоры» [16].

Следовательно, параметры циклограммы процесса (рисунок 24) и режим сварки труб разных сортаментов автоматически соблюдаются сварочным аппаратом с высокой степенью автоматизации, в то время, как со средней степенью автоматизации – часть параметров выполняется в ручном режиме, и наконец в ручных сварочных машинах автоматически поддерживаются только температура нагретого инструмента.



- а) – диаграмма изменения во времени t давления на торцах P и температуры нагретого инструмента T_n ;
 б) – последовательность протекания процесса сварки;
 1 – оплавление торцов; 2 – нагрев концов труб; 3 – вывод нагретого инструмента (технологическая пауза); 4,5 – осадка и охлаждение стыка

Рисунок 24 - Циклограмма процесса сварки встык нагретым инструментом труб из полиэтилена [16]

При сварке нагретым инструментом на рабочие поверхности нагревателя наносится антиадгезионный слой, препятствующим налипанию расплава на инструмент.

В СП 42-103-2003 указано: «маркировку сварных стыков (код оператора) производят несмываемым карандашом-маркером яркого цвета (например: белого или желтого – для черных труб, черного и голубого – для желтых труб). Маркировку (номер стыка и код оператора) наносят рядом со стыком со стороны, ближайшей заводской маркировке труб. Допускается маркировка (код оператора) производить клеймом на горячем расплаве грата через 20-40 с после окончания операции осадки в процессе охлаждения стыка в зажимах центриатора сварочной машины в двух диаметрально противоположных точках» [16].

6 Требования к контролю качества сварных соединений

При строительстве и реконструкции газопроводов с использованием полиэтиленовых труб (в том числе профилированных) для обеспечения требуемого уровня качества производят [16]:

- проверку квалификации сварщиков;
- входной контроль качества применяемых труб;
- технический осмотр сварочных устройств (нагревательного инструмента, сварочного центратора, торцовки, блока питания, программного устройства, вспомогательного инструмента), а также другого технологического;
- систематический операционный контроль качества сборки под сварку и режимов сварки;
- визуальный контроль (внешний осмотр) сварных соединений и инструментальный контроль их геометрических параметров;
- механические испытания сварных соединений;
- контроль сварных стыковых соединений физическими методами (при необходимости) в соответствии с требованиями СП 62.13330.2011.

Методы контроля качества сварных соединений подразделяются на обязательные (экспресс) методы, проводимые лабораториями строительно-монтажных организаций, и специальные, которые рекомендуются к использованию отраслевыми испытательными центрами в случае необходимости подтверждения результатов экспресс - методов, проведения углубленных исследований и других целей.

Вырезку контрольных соединений из газопровода осуществляют, как правило, в период производства сварочных работ с целью исключения вварки «катушек». Контрольные соединения выполняются по требованию органов надзора в случаях обнаружения нарушений технологии сварки.

Проверке подвергаются допускные и контрольные соединения, выполненные сварщиком в соответствии с нормами СП 62.13330.2011.

Сварные соединения, забракованные при внешнем осмотре и измерениях, исправлению не подлежат и должны быть из газопровода удалены.

При неудовлетворительных результатах испытаний сварных соединений экспресс - методами необходимо произвести проверку удвоенного числа соединений тем же методом контроля, по которому были получены неудовлетворительные результаты. Если при повторной проверке хотя бы одно из проверяемых соединений окажется неудовлетворительного качества, то сварщик отстраняется от работы и направляется для переаттестации или проверяется сварочная техника, которая использовалась для сварки этих стыков. Порядок проведения дальнейших работ на газопроводе определяется требованиями СП 62.13330.2011* (актуализированная версия СНиП 42-01).

«Перечень методов испытаний, обязательных при проведении контроля качества сварных соединений при способе сварки встык нагретым инструментом: внешний измерительный контроль, испытание на осевое растяжение, ультразвуковой контроль» - указано в СП 42-103-2003.

Обязательным методам оценки подвергаются сварные соединения, выполняемые перед началом строительства газопроводов (допускные стыки) и отбираемые из числа стыков, сваренных каждым сварщиком на объекте строительства (контрольные стыки).

Перечень специальных методов испытаний, рекомендуемых к проведению при оценке качества сварных соединений при сварке нагретым инструментом: испытание на статический изгиб.

6.1 Методика проведения ВИК

Во время осуществления визуально-измерительного контроля необходимо проводить внешний осмотр абсолютно всех сварных соединений в полном объеме.

Рекомендовано оснащать предприятия контрольными образцами соединений, соответствующих нормативно-техническим документам, по которым можно вести наглядное сравнение внешнего вида сварных соединений трубопровода.

Длина контрольного образца должна составлять не менее двух диаметров трубы, при этом сварной шов должен располагаться по центру.

На каждый типоразмер труб рекомендуется иметь свой образец. Образцы должны иметь паспорт с указанием:

- условного обозначения соединительных деталей или труб,
- дату сварки и номер протокола.

Сварные соединения, выполненные сваркой нагретым инструментом встык, должны отвечать следующим требованиям:

- валики сварного шва должны быть симметрично и равномерно распределены по окружности сваренных труб;
- цвет валиков должен быть одного цвета с трубой и не иметь трещин, пор, инородных включений;
- симметричность шва (отношение ширины наружного валика грата с одной и другой стороны к общей ширине грата) должна быть в пределах 0,3 - 0,7 в любой точке шва;
- смещение наружных кромок свариваемых заготовок не должно превышать 10 % толщины стенки трубы;
- впадина между валиками грата K (линия сплавления наружных поверхностей валиков грата) не должна находиться ниже наружной поверхности труб;
- угол излома сваренных труб не должен превышать 5° .

Размеры валиков наружного грата швов зависят от толщины стенки и материала свариваемых труб. В таблице 9 приведены данные, полученные при сварке труб из ПЭ 80, для труб из ПЭ 100 эти размеры меньше на 15 %.

Таблица 9 – Значения высоты и ширины валиков грата, мм.

Параметры наружного грата, мм	Условное обозначение труб									
	SDR 11 63 × 5,8	SDR 11 75 × 6,8	SDR 11 90 × 8,2	SDR 11 110 × 10	SDR 11 125 × 11,4	SDR 11 140 × 12,7	SDR 11 160 × 14,6	SDR 11 180 × 16,4	SDR 11 200 × 18,2	SDR 11 225 × 20,5
Высота h	1,5 - 3,0	2,0 - 3,5	2,5 - 4,5	2,5 - 4,5	3,0 - 5,0	3,0 - 5,0	3,0 - 5,0	3,5 - 5,5	4,0 - 6,0	4,5 - 6,5
Ширина b	4,0 - 6,0	5,0 - 7,0	6,0 - 8,5	6,5 - 10,0	8,5 - 12,0	9,0 - 13,0	10,0 - 15,0	11,0 - 16,0	13,0 - 18,0	14,0 - 21,0

Определение размеров валиков производится непосредственно на сварном шве в условиях строительного производства. Рекомендуется использовать специальный шаблон сварщика (рисунок 25). Шаблон позволяет измерить минимальную и максимальную ширину шва и измерить величину смещения кромок. Если в стыке присутствует смещение кромок при установке пятки шаблона с высокой стороны стыка, то с противоположной стороны стыка образуется зазор, величина которого измеряется с применением набора щупов. После чего, рассчитывают абсолютное смещение кромок к номинальной толщине стенки в процентном соотношении.

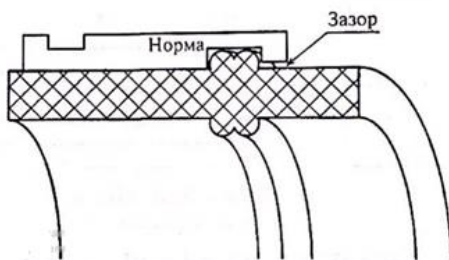


Рисунок 25 – Применение специального шаблона сварщика для контроля шва

Допускается производить определение расположения впадины между валиками грата и замер самих валиков после срезания наружного грата по всему периметру трубы. Необходимо производить срез наружного грата при помощи специальных приспособлений, не наносящих повреждений телу трубы и не выводящих толщину стенки за пределы допускаемых отклонений.

Результаты внешнего осмотра и проверки размеров сварочного грата соединений, выполненных сваркой нагретым инструментом встык, считают положительными, если в этих сварных соединениях отсутствуют дефекты, указанные в таблице 24 СП 42-103-2003.

Основные виды дефектов (брака) согласно СП 42-103-2003 приведены на рисунке 25.

- «Годное сварное соединение (рисунок 26 а). Такое соединение получается только при условии соблюдения всех технологических параметров сварки. Полученный сварной шов при это характеризуется гладкими, симметричными валиками грата округлой формы, а внешний вид шва и геометрические параметры грата полностью соответствуют вышеуказанным требованиям.

- При превышении допустимого зазора между торцами труб перед сваркой получается брак в виде шва с несимметричными валиками грата одинаковой высоты в одной плоскости, но различной в противоположных точках с различием по высоте более 50% в противоположных точках шва (рисунок 26 б).

- Негодное соединение (рисунок 26 в), представляет из себя малый грат округлой формы, высота и ширина которого меньше предельный значений, указанных в таблице 9. Такой брак возникает при несоблюдении следующих параметров: недостаточное давление при осадке шва или малое время прогрева.

- Обратная ситуация возникает при нарушении следующих параметров: чрезмерно высокая температура нагревателя и избыточное время прогрева.

При этом получается большой грат округлой формы (рисунок 26 г), ширина и высота которого больше приведенных в таблице 9 значений.

- Негодное соединение (рисунок 26 д), при котором по всей окружности шва определяется асимметричный грат. Ширина и высота валиком такого грата по всей окружности различается более, чем на 40%.

- Нарушение таких параметров как излишнее давление при осадке стыка наряду с пониженной температурой нагревателя приводит к образованию высокого и узкого грата, которые краями не касаются труб (рисунок 26 е), что является браком. При этом высота грата больше или равна его ширине.

- Если сварка проводилась при низкой температуре нагревателя в течение недостаточного времени прогрева, это приводит к формированию малого грата с глубокой впадиной между валиками (рисунок 26 ж). Устье впадины грата при этом расположено ниже наружной и выше внутренней образующих труб.

- Асимметричность валиков грата, а также различие их по высоте в одной плоскости более 40% и смещением сваренных труб более 10% от толщины стенки являются характерным признаком того, что в процессе сварки трубы были смещены относительно друг друга (рисунок 26 з).

- Брак в виде неравномерного распределения грата по периметру шва (рисунок 26 и) возникает из-за смещения нагревателя в процессе прогрева. При этом высота грата в месте неравномерно выхода больше его ширины, а впадина между валиками грата не четко выражена или отсутствует. Размеры грата в противоположной точке шва меньше на 50% и более» [25].

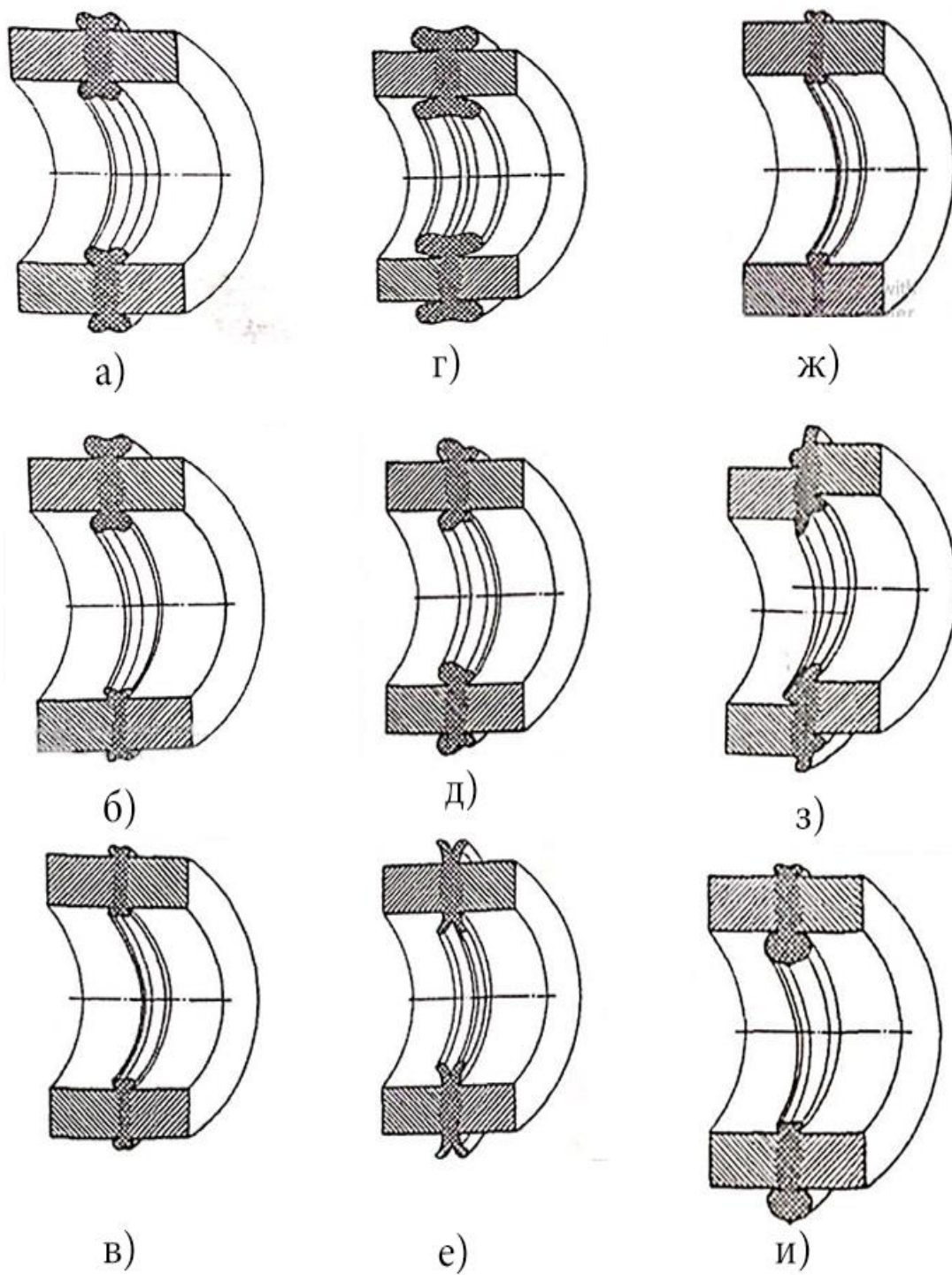


Рисунок 26 – Внешний вид годных (а) и с браком (б-и) сварных соединений

Отдельные наружные повреждения валиков сварного шва (срезы, сколы, вдавленности от клеймения стыка) протяженностью не более 20 мм и незатрагивающие основного материала трубы считать браком не следует.

6.2. Методика проведения УЗК

Ультразвуковому контролю подвергаются соединения полиэтиленовых труб, выполненные сваркой нагретым инструментом встык и соответствующие требованиям визуального контроля. Количество сварных соединений, подвергаемых ультразвуковому контролю, следует определять по нормам СП 62.13330.2011* (актуализированная версия СНиП 42-01) в зависимости от условий прокладки газопровода и степени автоматизации сварочной техники.

УЗК сварных стыковых соединений осуществляют вручную, механизированным или автоматизированной вариантах в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55724-2013 [26].

УЗК сварного стыкового соединения должен проводиться при температуре околошовной зоны стыка не выше 30 °С.

Околошовную зону сварного соединения по обе стороны от шва и по всему периметру следует очистить от пыли, грязи и других неровностей на ширину не менее 40 мм.

Необходимо нанести разметку на сварное соединение: точка начала отсчета – «О» и направление контроля.

Перед проведением процедуры УЗ контроля на очищенные поверхности труб наносится слой контактирующей жидкости. Тип жидкости зависит от температуры окружающего воздуха: при температуре выше 0°С используют водорастворимые гели, обойный клей, глицерин, при температурах ниже 0°С – моторные масла.

По завершению процедуры контроля контактирующая жидкость с поверхности труб удаляется.

С помощью ультразвукового контроля должны выявляться внутренние дефекты типа несплавлений, трещин, единичных или протяженных включений. Критерии оценки качества при помощи ультразвукового контроля сварных соединений полиэтиленовых труб приведены в приложении Р СП 42-103-2003 [16].

6.3 Методика проведения механических испытаний

Испытания на осевое растяжение подвергаются соединения, выполненные сваркой нагретым инструментом. Критерием определения качества сварного соединения является характер разрушения образцов.

Различают три типа разрушения:

- тип I – наблюдается после формирования «шейки» - типичного сужения площади поперечного сечения образца во время растяжения на одной из половин испытываемого образца. Разрушение наступает, как правило, не ранее чем при достижении относительного удлинения более 50% и характеризуется высокой пластичностью. Линия разрыва проходит по основному материалу и не пересекает плоскость сварки;
- тип II – отмечается при достижении предела текучести в момент начала формирования «шейки». Разрушение наступает при небольших величинах относительного удлинения, как правило, не менее 20 и не более 50% и характеризует низкую пластичность. Линия разрыва пересекает плоскость сварки, но носит вязкий характер;
- тип III – происходит до достижения предела текучести и до начала формирования «шейки». Разрушение наступает при удлинении образца, как правило, не более 20% и характеризует хрупкое разрушение. Линия разрыва проходит точно по плоскости сварки.

Результаты испытаний считаются положительными, если при испытании на осевое растяжение не менее 80% образцов имеют пластичный характер разрушения I типа. Остальные 20% образцов могут иметь характер

разрушения II типа. Разрушение III типа не допускается. При хрупком разрыве по шву для определения причин разрушения анализируется характер излома и дефекты шва.

Механические испытания на растяжение образцов производятся согласно требованиям ГОСТ 11262. Испытания на растяжения проводят на не менее 5 образцах-лопатах типа 2 [27]. Испытание на растяжение производится не ранее чем через 24 часа после сварки.

7 Экспериментальная работа по проведению сварки полиэтиленовых труб при различных температурах

7.1 Подготовка образцов для проведения эксперимента

Для моделирования сварки полиэтиленовых труб в условиях низких климатических температур без предварительного подогрева торцов свариваемых труб были взяты четыре комплекта контрольных сварных соединений из полиэтиленовых труб марки ПЭ 80 SDR11 110x10,0. Контрольные сварные соединения диаметром 110 мм и толщиной стенки 10 мм, были вырезаны длиной не менее 350мм каждая при помощи гильотины марки Virax (рисунок 27).



Рисунок 27 - Обрезка образцов при помощи гильотины

7.2 Сварка контрольных - сварных соединений

Сварка опытных контрольных сварных соединений проводилась на аппарате для сварки полиэтиленовых труб со ручной степенью механизации ССПТ-315Э (рисунок 28).

Агрегат аппарата имеет фирменный шильд, на котором нанесена информация: VIN код, обозначение, заводской номер, масса, месяц и год выпуска. ССПТ-315Э выполнен с функцией протоколирования процесса сварки.



Рисунок 28- Аппарат для сварки полиэтиленовых труб ССПТ-315Э

Исходя из инструкции по эксплуатации данного аппарата, для полиэтиленовой трубы ПЭ 80 SDR 11 110x10, согласно НТД [28] «требуется соблюдать следующие технологические параметры:

$$P_{оп} = 3,8 \text{ бар}; t_{п} = 7 \text{ с}, T_{н} = 215^{\circ}\text{C}, t_{охл.} = 14 \text{ мин.}, t = 100 \text{ с.}, P_{н} = 0,9 \text{ бар}$$

Перед тем, как начать сварку поверхности концов свариваемых труб очистили сначала увлажненной, затем сухой ветошью на длину не менее 50 мм от торцов». Сварку встык соединений проводили по режимам изготовителя.

При сварке первых трёх контрольных сварных соединений технологические параметры сварки были идентичными, за исключением температуры поверхности тела свариваемых труб. Для моделирования условий сварки при низких климатических температурах использовалась климатическая камера СМ-60/100-80 ТХ (ТХВ) (рисунок 29).



Рисунок 29 - Климатическая камера СМ-60/100-80 ТХ (ТХВ)

Климатическая камера СМ-60/100-80 ТХ (ТХВ) предназначена для проведения испытаний и моделирования высоких и низких температур климатических при различных параметрах влажности. Климатическая камера является испытательным оборудованием, в связи, с чем подвергается первичной и периодической метрологической аттестации с интервалом в 12 месяцев.

Процесс сварки включает в себя перечень следующих операций, которые были идентичными для всех сваренных образцов:

1. На первом этапе трубы устанавливаются и фиксируются в центраторе с помощью зажимов,

2. труба центрируется по наружной поверхности таким образом, чтобы максимальная величина смещения наружных кромок не превышала 1 мм,
3. на следующем этапе в сварочной установке проводят торцевание свариваемых поверхностей,
4. после торцевания проводится визуальный контроль центровки труб и отсутствия недопустимых зазоров (максимально допустимый зазор – 0,3 мм),
5. проведение замера давления холостого хода (P_{xx}) подвижного зажима центратора установки с закрепленной в нем трубой,
6. между торцами свариваемых труб устанавливается нагреватель с температурой зеркала нагревателя T_H ,
7. торцы труб прижимаются к нагревателю с требуемым давлением оплавления $P_{оп}$ (при этом учитывается давление холостого хода ($P_{оп}+P_{xx}$)). Этот процесс называется оплавлением;
8. давление оплавления выдерживается в течение времени оплавления $t_{оп}$ – времени образования по периметру свариваемых поверхностей первичного грата, высота которого не превышает 1,5 мм,
9. после появления первичного грата, давление снижается до величины давления прогрева $P_{пр}$ (при этом учитывается давление холостого хода ($P_{пр}+P_{xx}$)). Давление прогрева выдерживается в течение времени, необходимого для прогрева торцов труб $t_{пр}$. Следует учесть, что размеры грата при этом не должны увеличиваться;
10. наступает этап технологической паузы ($t_{тп}$). После окончания прогрева, подвижный зажим центратора отводится на расстояние, необходимое для удаления нагревателя из зоны сварки, а концы труб, тем временем, сводятся до контакта и выдерживаются в таком положении в течение времени технологической паузы ($t_{тп}$);
11. создать плавно требуемое давление осадки $P_{св}$, после контакта торцов труб (не превышая время подъема давления $t_{пд}$) (при этом учитывается давление холостого хода ($P_{св}+P_{xx}$)).

12. созданное давление осадки выдерживается в течение времени, необходимого для остывания стыка, т.е. времени осадки $t_{св}$. Затем проводится визуальный контроль сварного соединения, оцениваются размер и конфигурация грата;

13. сварные соединения освобождаются из зажимов центратора и извлекаются.

Четыре пары полиэтиленовых труб были сварены при различных температурах поверхности тела труб: -47°C (образец номер 3), -25°C (образец номер 2), $+13^{\circ}\text{C}$ (образец номер 1), $+18^{\circ}\text{C}$ (образец номер 4), с различным технологическим режимам.

Образец номер 1 (рисунок 30) – сварен при допустимой температуре окружающего воздуха плюс 13°C , время нагрева 80 с. остальные параметры по регламентированному СП 42-103-2003 технологическому режиму (режим 1).

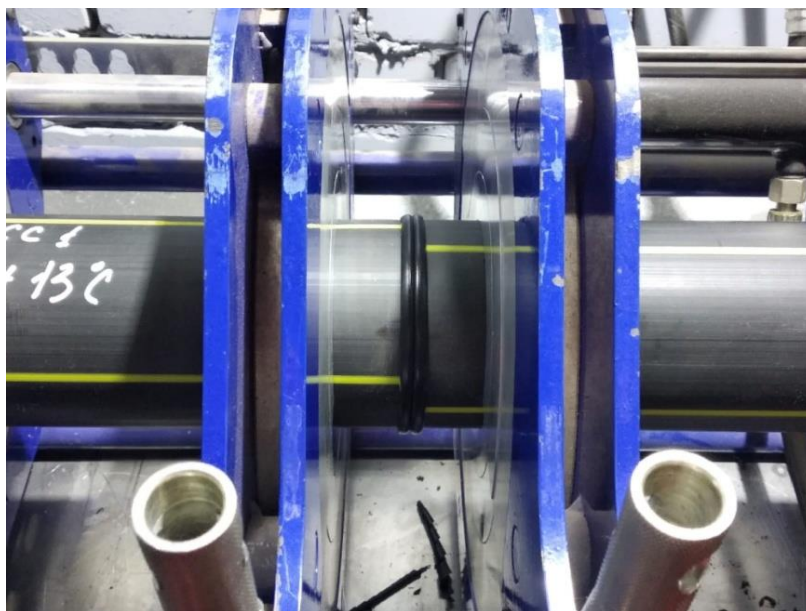


Рисунок 30 - Сварка образца номер 1

Образец номер 2 (рисунок 31) – охлажден в климатической камере СМ-60/100-80 ТХ (ТХВ) до температуры минус 25°C и сварен, время нагрева

– 80 с, остальные параметры по регламентированному СП 42-103-2003 технологическому режиму (режим 2).

При сварке второго образца были нарушены следующие параметры технологического режима: продолжительность нагрева была недостаточная, температура окружающего воздуха ниже регламентированной в СП 42-103-2003, а именно минус 25°C.

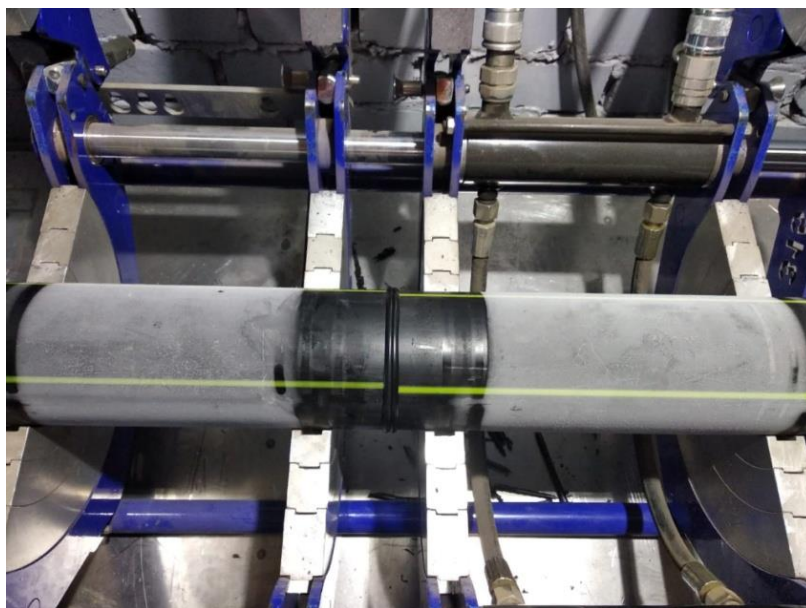


Рисунок 31 - Сварка образца номер 2

Образец номер 3 (рисунок 32) – охлажден в климатической камере СМ-60/100-80 ТХ (ТХВ) до температуры минус 47° С и сварен, время нагрева – 140 с, остальные параметры по регламентированному СП 42-103-2003 технологическому режиму (режим 3).



Рисунок 32 - Сварка образца номер 3

При сварке третьего образца были нарушены следующие параметры технологического режима: высокий темп остывания, температура окружающего воздуха ниже регламентированного в СП 42-103-2003 значения, а именно минус 47°C.

Образец номер 4 сварен при допустимой температуре окружающего воздуха плюс 18°C, время нагрева – 100 с, остальные параметры по регламенту СП 42-103-2003 (режим 4).

При исследовании образцы были вырезаны из трубы ПЭ 80 ГАЗ SDR 11-110x10 по ГОСТ Р 50838-2009 [29]. Трубы предназначены для транспортирования горючих газов, применяемых в качестве сырья и топлива для промышленного и коммунально-бытового использования при максимальном рабочем давлении (М О Р) до 1,2 МПа и рабочей температуре газа до 40°C [1]. Перед сваркой внешний вид трубы определили визуально без применения увеличительных приборов.

Образцы 2 и 3 помещали в камеру и охлаждали до необходимой температуры. Температуру образцов измеряли контактным цифровым

термометром ТК-5.04. Температура второго образца составила -25°C , а третьего образца -47°C (рисунок 33).



Рисунок 33 - Измерение температуры образцов в процессе охлаждения контактным цифровым термометром ТК-5.04

Термометр контактный цифровой ТК-5.04 состоит из электронного блока и зондов, предназначенных для измерения температуры жидких, сыпучих, газообразных сред и поверхностей твердых тел. По ГОСТ Р 8.585 [30]: «в качестве термочувствительных элементов в зондах используется преобразователи термоэлектрические ХА(К) с НСХ».

ТК-5.04 имеет широкую область применения в машиностроении, энергетике, металлургии и т.д.

Сварка образцов 1 и 4 производилась при температуре окружающего воздуха $+13^{\circ}\text{C}$ и $+18^{\circ}\text{C}$ соответственно. Технологические параметры сварки

образца 4 были изменены. Общие сведения параметров сведены в таблицу 10.

Таблица 10 – Параметры технологического процесса сварки труб встык нагретым инструментом (установка ССПТ-315Э)

№ п/п	Технологический параметр		Значение			
			1 образец	2 образец	3 образец	4 образец
1	Температура нагретого инструмента, °С	T_n	215	230	230	220
2	Давление при оплавлении, бар	$P_{оп}$	6,8	6,8	6,8	6,0
3	Высота первичного грата, мм	-	1,5	1,5	1,5	1,5
4	Давление при прогреве концов труб, бар	$P_{пр}$	3,9	3,9	3,9	3,1
5	Время при прогреве концов труб, сек	$t_{пр}$	80	80	140	100
6	Время технологической паузы, сек	$t_{тп}$	7	7	7	7
7	Время подъема давления, сек	$t_{пд}$	8	8	8	8
8	Давление при осадке стыка, бар	$P_{св}$	6,8	6,8	6,8	6,0
9	Время при охлаждении, мин	$t_{св}$	13,5	13,5	13,5	13,5
10	Давление холостого хода, бар	$P_{хх}$	3	3	3	2,2
11	Температура поверхности тела трубы, °С	$T_{ов}$	13	-25	-47	18

7.3 Контроль готовых контрольных сварных соединений

7.3.1 ВизК

Процедура контроля проводилась при стандартной температуре окружающего воздуха 18 - 20°C.

Все сваренные образцы были проконтролированы визуальным и измерительным контролем на предмет соответствия требованиям НТД. Внешний вид и параметры выполненных сварных соединений должны отвечать определенным требованиям, в числе которых: размеры валиков грата. Значения измеренных параметров сваренных образцов приведены ниже в таблице 11. Размер грата измерялся штангенциркулем по ГОСТ 166 [31] и УШС-3.

По результатам проведенного измерительного контроля сваренных образцов, установлено, что геометрические размеры грата (высота и ширина) соответствуют требуемым значениям и отклонения находятся в пределах допустимых значений на всех образцах, не зависимо от моделируемой температуры в процессе сварки.

Внешний вид сваренных образцов контролировали визуально без применения увеличительных приборов, недопустимых наружных дефектов выходящих на поверхность не обнаружено.

Таблица 11 - Параметры наружного грата

Фактическая толщина стенки трубы, 10 мм	Высота грата, мм			Ширина грата, мм		
	min	max	фактическая	min	max	фактическая
1	2	3	4	5	6	7
1 образец	2,5	4,5	3,0 2,8 3,0	5,5	10,0	9,5 10,0 10,0
2 образец	2,5	4,5	2,6 2,5 2,5	5,5	10,0	10,0 10,0 9,0
3 образец	2,5	4,5	2,5 2,9 2,5	5,5	10,0	9,0 9,0 9,0

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5	6	7
4 образец	2,5	4,5	3,0	5,5	10,0	9,0
			2,5			9,5
			3,0			10,0

7.3.2 УЗК

После проверки визуально и измерительным контролем был проведен ультразвуковой контроль (УЗК). Контроль проводился через 24 часа после сварки последнего сварного соединения. «УЗК основан на свойстве ультразвуковых волн отражаться и преломляться на границах раздела сред с различными акустическими свойствами, в том числе на его способности практически полностью отражаться от трещин и других дефектов, заполненных газами. С помощью ультразвукового контроля должны выявляться внутренние дефекты типа несплавлений, трещин, отдельных или цепочек (скоплений) пор, включений» [22].

Аппарат, применяющийся для контроля качества стыковой сварки полиэтиленовых труб, носит название ультразвукового дефектоскопа.

СНиП 42-01-2002 [32] регламентирует число стыковых соединений, подлежащих ультразвуковому контролю.

На сегодняшний день для проведения УЗК используются современные аппараты (дефектоскопы), которые позволяют протоколировать результаты контроля, а также выводить информацию на ПК и печатающие устройства.

Комплект А1214 EXPERT состоит из следующих элементов:

- электронный блок дефектоскопа с чехлом,
- блок питания,
- шнур питания,
- комплект прямых и наклонных ПЭП,
- кабель USB,
- настоечный образец V-2,
- гель для УЗК,

- двойной и одинарный кабели LEMO,
- хордовый ПЭП и настоечный образец 110x10 мм с плоскодонным отверстием с диаметром 1,8 мм,

Комплект А1214 EXPERT представлен на рисунках 34, 35.



Рисунок 34 - Первоначальная настройка чувствительности дефектоскопа А1214 EXPERT



Рисунок 35 - Состав комплекта для ультразвукового контроля

Технология работы, а также руководство по эксплуатации и настройке параметров ультразвукового дефектоскопа отражены в инструкции, которая, как правило, входит в комплект аппарата.

Трещины, поры различных размеров, смещение кромок деталей, включения инородных фрагментов в сварной шов – все эти дефекты могут быть выявлены с помощью ультразвукового дефектоскопа.

Сварное соединение признается браком при следующих показателях дефектоскопа согласно СП 42-103-2003 [25]:

- «наличие отраженного сигнала в рабочем стробе превышающем амплитуду сигнала от эталонного плоскодонного отражателя диаметром 1,8 мм на браковочном уровне.

- наличие отраженного сигнала в рабочем стробе превышающем амплитуду сигнала от эталонного плоскодонного отражателя диаметром 1,8 мм на поисковом уровне и имеющем условную протяженность более 20 мм».

Оценка качества стыковых сварных соединений полиэтиленовых газопроводов производится по альтернативному признаку – «годен» или «не годен».

По результатам ультразвукового контроля образцы с номерами 1, 2, 4 признаны годными. Образец с номером 3 (охлажденный до температуры -47°C) был забракован по результатам ультразвукового контроля. В результате ультразвукового контроля обнаружены протяженные несплавления общей условной протяженностью 125 мм. [33]. Процесс проведения УЗ контроля сварных соединений полиэтиленовых труб представлен на рисунке 36.

Таким образом, можно сделать вывод, что при изменении окружающей температуры от минус 25°C до плюс 18°C, можно получить качественную сварку полиэтиленовых труб марки ПЭ 80 SDR11 диаметром 110мм, с толщиной стенки 10мм.



Рисунок 36 – Проведение УЗ контроля сварных соединений полиэтиленовых труб

7.3.3 Механические испытания

После проведения неразрушающих методов контроля приступили к проведению разрушающих методов контроля. Механические испытания провели на осевое растяжение. Для этого из всех сваренных четырех труб были вырезаны образцы типа 2 по ГОСТ 11262-2017 [27]. Из каждого стыка было вырезано равномерно по периметру шва 6 образцов (рисунок 37). Испытание на растяжение производилось на разрывной машине марки ИР 5047-50 с учетом требований ГОСТ 11262. При этом скорость нагружения заготовок (скорость испытания) составляла - 25 мм/мин. При испытании определялась максимальная нагрузка и относительное удлинение при разрыве, значения которых регистрировались на электронном блоке разрывной машины.



Рисунок 37 – Образец, вырезанный для испытания на растяжение

В исследовательской работе использовалась разрывная машина ИР-5047-50 (рисунок 38).



Рисунок 38 – Разрывная машина ИР-5047-50

Разрывная машина ИР-5047-50 изготовлена заводом ТОЧПРИБОР. Предназначена для испытания пластмасс с наибольшей предельной нагрузкой 50 кН на растяжение, сжатие, изгиб, гистерезис, малоцикловые усталостные испытания по нагрузке, перемещению и деформации при нормальной температуре. Машина может быть использована для испытания образцов из таких материалов как: резина, текстиль, черные и цветные металлы и др. материалы в пределах ее технических возможностей.

Разрывная машина является испытательным оборудованием, в связи, с чем подвергается первичной и периодической метрологической аттестации с интервалом в 12 месяцев.

Рядом с испытательной установкой расположен силовой блок, выполняющий ряд следующих задач: снабжает электричеством системы разрывной машины, управляет электроприводом, защищает от аварийных ситуаций путем срабатывания сигнализации. Помимо силового блока, в комплект разрывной машины входит микропроцессорный пульт оператора, с которого осуществляется управление разрывной машиной, измерение, запись параметров испытания на растяжение (нагрузка, перемещение, деформация, время, скорость), их вывод на ПК и печатное устройство, а также расчет результатов испытания в соответствии с ГОСТ 1497-84) [34];

На испытательной установке (сверху) установлен силоизмерительный тензорезисторный датчик.

Технические свойства разрывной машины ИР-5047-50:

А. Диапазон измерения нагрузки:

- диапазон – от 0 до 50Н для силоизмерителя с предельной нагрузкой 50Н;

- диапазон – от 0 до 500Н для силоизмерителя с предельной нагрузкой 500Н;

- диапазон – от 0 до 5кН для силоизмерителя с предельной нагрузкой 5кН;

- диапазон – от 0 до 50кН для силоизмерителя с предельной нагрузкой 50кН;

Б. Погрешность измерения нагрузки в % - не более $\pm 1\%$

В. Число силоизмерительных датчиков – 4.

Г. Допускаемая погрешность измерения перемещения активного захвата составляет $\pm 0,3$ мм;

Д. Минимальная величина измерения перемещения захвата: 0,01 мм.

Е. Диапазоны скорости перемещения активного захвата: 0,5...500 мм/мин.

Оператор управляет разрывной машиной с микропроцессорного пульта при помощи клавиатуры. Протоколы испытаний могут быть выведены на

печатное устройство. На рисунке 39 приведен протокол исследования образца на растяжение.

N: 1.1

ИВММ ИР-5007-50

Вид испытания: растяжение.
Направление деформации: по traverse.

Скорость испытания: 25,0 мм/мин

Параметры образца:

Форма образца:	плоский
l-	150,00 мм 5,9055 дюйм(in)
l ₀ -	60,00 мм 2,3622 дюйм(in)
a ₀ -	10,50 мм 0,4133 дюйм(in)
b ₀ -	9,00 мм 0,3543 дюйм(in)
F ₀ -	94,50 мм ² 0,1444 дюйм ² (in ²)

Результат испытания.
№ испытания- 1

Максимальная нагрузка-	234,6 Н 52,7 фунт-сила(klbf)
Деформация-	9,474 мм 0,3729 дюйм(in)
Разрывная нагрузка-	9,7 Н 2,1 фунт-сила(klbf)
Деформация-	105,456 мм 7,3014 дюйм(in)
Временное сопротивление-	2,48 МПа(N/мм ²) 359 фунт-сила/дюйм ² (lbf/in ²)

Рисунок 39 – Протокол исследования образца на растяжение

Разрыв образцов, вырезанных из контрольных сварных соединений (первого, второго и четвертого), происходил не по сварному шву, а по основному материалу образца. Процесс испытания образца на растяжение представлен на рисунке 40.

При испытании образцов, вырезанных из контрольного сварного соединения № 3 из бездефектного участка разрушение происходило по сварному шву.

В процессе определялся характер разрушений испытаний образцов на растяжение (таблица 12):

Таблица 12 - Сводная таблица результатов механических испытаний на растяжение

№ контрольного сварного соединения	№ образца	Характер разрушения
КСС 1; +13°C	1.1	пластичный
	2.1	пластичный
	3.1	пластичный
	4.1	пластичный
	5.1	пластичный
	6.1	пластичный
КСС 2; -25°C	2.1	хрупкий
	2.2	пластичный
	2.3	хрупкий
	2.4	хрупкий
	2.5	хрупкий
	2.6	пластичный
КСС 3; -47°C	3.1	хрупкий
	3.2	хрупкий
	3.3	хрупкий
	3.4	хрупкий
	3.5	хрупкий
	3.6	хрупкий
КСС 4; +18°C	4.1	пластичный
	4.2	пластичный
	4.3	пластичный
	4.4	пластичный
	4.5	пластичный
	4.6	пластичный

Во время испытания на растяжение нами регистрировались значения такого параметра как «нагрузка-деформация», из которого в последующем определялась максимальная нагрузка P_{\max} . Под максимальной нагрузкой следует понимать ту нагрузку, при которой происходит разрушение образца.

Напряжение σ_T при разрушении образца высчитывалось по следующей формуле:

$$\sigma_T = P_{\max} / S_0, \quad (3)$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка (Н); S_0 – площадь образца (мм²).

Следующим этапом на образцах, вырезанных из контрольных сварных соединений (первого, второго и четвертого) определялся предел текучести при растяжении. Результаты испытания приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Результаты испытания на растяжение

Номер КСС	номер образца	Смоделированная температура, °С	Максимальная нагрузка, (Н)	относительное удлинение δ , %	Предел текучести, σ_T , МПа
1	1-6	+13	231 - 238	360 - 390	21 - 23
2	1-6	-25	231,5 – 238,6	360 - 390	21 - 23
3	1-6	-47	-	-	-
4	1-6	+18	231 - 238	360 - 390	21 - 23

Вывод:

- результаты испытаний на растяжение образцов, вырезанных из контрольных сварных соединений № 1,2,4 по относительному удлинению и пределу текучести соответствуют сертификату на полиэтиленовые трубы.

- образцы, вырезанные из контрольного сварного соединения № 3 по относительному удлинению и пределу текучести не соответствует сертификату на полиэтиленовые трубы.



Рисунок 40 – Испытание на растяжение

По результатам проведенных контрольных испытаний нами получены следующие результаты:

- негодным был признан сварной шов контрольного сварного соединения №3 (смоделированная температура окружающего воздуха – минус 47°С). Тип разрушения – III, характер разрушения – хрупкий на всех шести образцах-лопатках.

- негодным также был признан сварной шов контрольного сварного соединения №2 (смоделированная температура окружающего воздуха – минус 25°С). Однако лишь четыре образца-лопатки имели III тип разрушения (хрупкий характер разрушения). Два образца-лопатки имели разрушения I типа (пластичный характер разрушения), при этом разрушение наступило лишь при достижении относительного удлинения в среднем 364%.

- годным признан сварной шов контрольного сварного соединения №1 (температура окружающего воздуха – плюс 13°С). Тип разрушения I, характер разрушения – пластичный на всех шести образцах-лопатках; разрушение наступало при достижении относительного удлинения в среднем 370%.

- сварной шов четвертого контрольного сварного соединения также был признан годным (температура окружающего воздуха – плюс 18°С). Тип разрушения I, характер разрушения – пластичный на всех шести образцах-лопатках; разрушение наступало при достижении относительного удлинения в среднем 377%.

Таким образом, негодными были признаны сварные швы контрольных сварных соединений №3 (смоделированная температура окружающего воздуха – минус 47°С) и №2 (смоделированная температура окружающего воздуха – минус 25°С), годными - сварные швы контрольных сварных соединений № 1 (температура окружающего воздуха – плюс 13°С) и № 4 (температура окружающего воздуха – плюс 13°С).

По результатам механических испытаний образцов, вырезанных и контрольных сварных соединений, (таблица 14), учитывая значения предела текучести и температуры окружающего воздуха был составлен график (рисунок 42). Таблица 14 - Результаты испытаний на осевое растяжение образцов, вырезанных из контрольных сварных соединений.

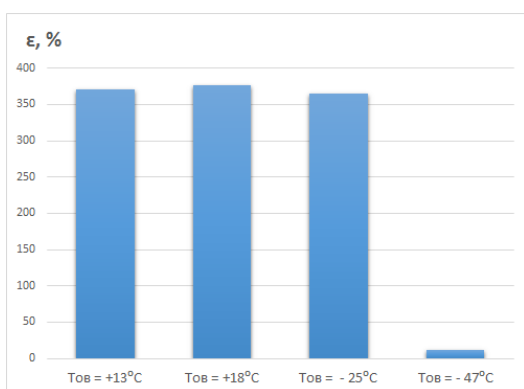
Таблица 14 – Результаты испытаний на осевое растяжение образцов, вырезанных из контрольных сварных соединений

Технологический режим сварки; смоделированная температура	№ обр.	Мах. нагрузка	σ , МПа	$\sigma_{ср}$, МПа	ϵ , %	$\epsilon_{ср}$, %	Тип разрушения	Оценка стыка
1	2	3	4	5	6	7	8	9
КСС 1; +13°C	1.1	234,6	24,8	22,18	365	370,50	Тип I	Годен
	2.1	230,9	24,8		365,71		Тип I	
	3.1	171,2	18,95		338,76		Тип I	
	4.1	178,1	21,20		428,01		Тип I	
	5.1	117,6	13,83		365,53		Тип I	
	6.1	238,6	29,50		360		Тип I	
КСС 2; -25°C	2.1	232,6	26,00	25,42	380	364,33	Тип III	Не годен
	2.2	246,5	28,00		331		Тип I	
	2.3	166,1	21,37		357		Тип III	
	2.4	186,2	25,33		400		Тип III	
	2.5	172,2	24,11		332		Тип III	
	2.6	231,2	27,7		386		Тип I	
КСС 3; -47°C	3.1	136,1	18,78	16,19	14	12,17	Тип III	Не годен
	3.2	99,7	11,86		6,75		Тип III	
	3.3	159,8	19,02		14,8		Тип III	
	3.4	134,9	14,93		11,2		Тип III	
	3.5	143,5	16,26		13,13		Тип III	
	3.6	143,6	16,26		13,14		Тип III	

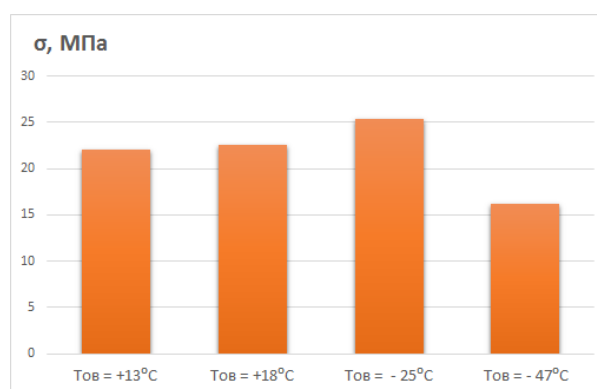
Продолжение таблицы 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
КСС 4; +18°C	4.1	194,1	21,7	22,61	337,44	377,05	Тип I	Годен
	4.2	164,7	17,23		365,7		Тип I	
	4.3	108,5	12,75		445,47		Тип I	
	4.4	231,2	25,0		380,37		Тип I	
	4.5	238,6	29,5		360		Тип I	
	4.6	230,6	29,5		373,3		Тип I	

На рисунке 41 приведены результаты испытания на растяжение образцов.



а)



б)

Рисунок 41. Результаты испытаний на растяжение сварного стыкового соединения: относительное удлинение при максимальной нагрузке (а); предел текучести (б).

График зависимости предела текучести от температуры окружающей среды

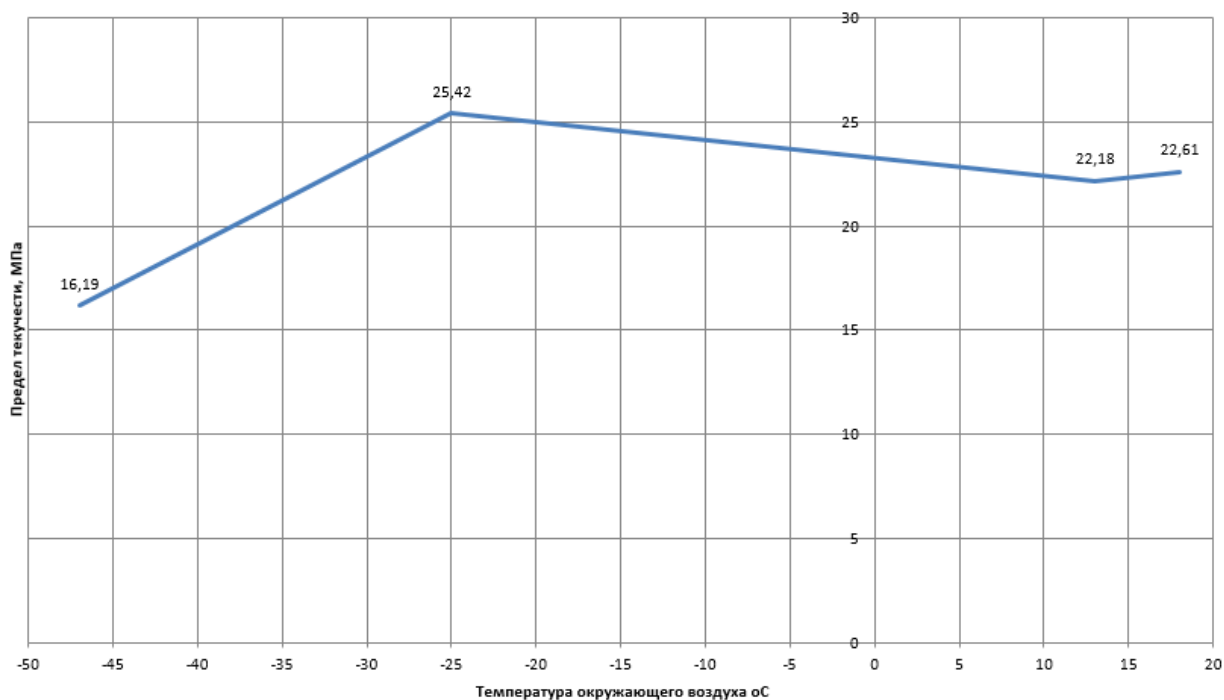


Рисунок 42 – график зависимости предела текучести от температуры окружающей среды

Предел текучести при смоделированной температуре минус 47°С (КСС № 3) имеет самое наименьшее значение из представленных образцов, о чем свидетельствует хрупкое разрушение образцов по сварному шву.

А разброс показателей предела текучести остальных образцов находятся в пределах 11...13%.

Относительное удлинение при испытании образцов из КСС № 1, 2, 4 соответствуют НТД и составляет не менее 350%. А разброс показателей предела текучести данных образцов находятся в пределах 2-4% и соответствует требованиям НТД [35].

Однако, два образца из шести, вырезанных из КСС № 2 имели хрупкий тип разрушения. При контроле данного КСС визуально – измерительным контролем и ультразвуковым дефекты не выявлены, что указывает на то, что неразрушающий метод контроля не позволяет выявить некоторые нарушения

технологии сварки согласно СП 42-103-2003 [16], таких как не соблюдение температуры окружающей среды при производстве сварочно-монтажных работ.

Следовательно, если необходимо произвести работы при температуре ниже минус 15°C, сварку полиэтиленовых труб необходимо производить с применением укрытий (палаток) и подогрева концов свариваемых труб до допустимой температуры согласно требованиям пункта 6.59 СП 42-103-2003 [16].

Заключение

В данной магистерской диссертационной работе достигалась цель – подтверждение возможности выполнения качественной сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык в условиях низких температур окружающего воздуха, а так же выбор наиболее оптимальных технологических режимов сварки для уменьшения вероятности возникновения аварийных ситуаций при эксплуатации полимерных трубопроводов.

В процессе выполнения магистерской диссертационной работы получены следующие результаты:

1. При неразрушающем контроле образцов, сваренных при различных температурах:

Визуальный и измерительный контроль. Внешний вид сваренных образцов контролировали визуально без применения увеличительных приборов. Результат – недопустимых наружных дефектов, выходящих на поверхность, не обнаружено. По результатам измерительного контроля установлено, что геометрические размеры грата (высота и ширина) соответствуют требуемым значениям и отклонения находятся в пределах допустимых значений на всех образцах, не зависимо от моделируемой температуры в процессе сварки.

По результатам ультразвукового контроля образцы с номерами 1, 2, 4 признаны годными. Образец с номером 3 (охлажденный до температуры минус 47°С) был забракован по результатам ультразвукового контроля. В результате ультразвукового контроля обнаружены несплавления общей условной протяженностью 125 мм.

При механических испытаниях на растяжение на разрывной машине, этих же образцов получено:

На образцах, вырезанных из контрольных сварных соединений номер 1 и 4, разрушение произошло по основному материалу, а не по сварному шву.

То есть разрушение произошло по первому типу. При испытании образцов, вырезанного из контрольного сварного соединения номер 2 разрушение двух образцов, произошло по первому типу, четыре образца разрушились по третьему типу. При испытании образцов, вырезанного из контрольного сварного соединения номер 3 из бездефектного участка разрушение, произошло по сварному шву. То есть разрушение произошло по третьему типу. Такой результат механических испытаний образцов номер 2 и 3 можно объяснить низкой скоростью взаимодиффузии макромолекул на соединяемых поверхностях.

2. Получен диапазон температур окружающего воздуха от минус 25°C до 18°C. при котором по результатам визуально-измерительного контроля и ультразвукового контроля можно получить качественную сварку полиэтиленовых труб марки ПЭ 80 SDR 11 110x10мм.

3. При анализе полученных результатов неразрушающего и разрушающего методов контроля обнаружено, что визуально-измерительный и ультразвуковой контроль зачастую не выявляют нарушения температурного режима технологии сварки и не дают количественную оценку прочности сварного соединения, следовательно в процессе сварочно-монтажных работ требуется строго соблюдать температурный режим.

4. Выполнение качественной сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык при условии пониженных температур окружающего воздуха ниже нормативных не представляется возможным.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод об эффективности применения результатов настоящей диссертационной работы при сварке трубопроводов из полимерных материалов.

На основании вышеизложенного цель диссертационного исследования достигнута.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Свойства полиэтиленовых труб [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.tattruba.ru/svoystva-polietilenovih-trub.php>
2. Пластиковые трубы: сравнительная характеристика полимерных материалов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://plastinfo.ru/information/articles/310/?lt=148>
3. Основные способы сварки пластмасс [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://polimerinfo.com/kompozitnye-materialy/svarka-plastmass.html>
4. Каргин В.Ю. Полиэтиленовые газовые сети. Материалы для проектирования и строительства /В.Ю. Каргин, В.Е. Бухин, Ю.Н. Вольнов.– Саратов: ОАО «Приволжское книжное издательство», 2001.– 400 с.
5. Зубаиров Т.А. Анализ основных нормативных документов на полимерные материалы для газопроводов / Т.А. Зубаиров, Б.Н. Мастобаев, М.М. Фаттахов // Научно-информационный сборник Нефтегазохимия. Выпуск 3. Москва 2014. – С. 25–27.
6. Македонски С.Г., Кочетов М.В., Зуев М.А., Иванов С.В., Степанов В.Н. Сварка полимерных труб в стык нагретым инструментом. Методическое пособие. – М.: - 2017. – 11 с.
7. А. К. Ращепкин, С. М. Сергеев, О. В. Глухова Длительная прочность полиэтиленовых труб для систем газоснабжения – Нефтегазовое дело 2005; 2.
8. Свод правил. Общие положения по проектированию и строительству газораспределительных систем из металлических и полиэтиленовых труб. – М.: ДЕАН, 2011. – 352 с.
9. Суть сварки полимеров [Электронный ресурс].- Режим доступа <https://e-plastic.ru/specialistam/drugie-metodi-pererabotki/svarka-polimerov/>
10. Handbook of Plastic Joining: A Practical Guide. – Norwich: Plastics Design Library, 1997 – 586 с.
11. Режимы сварки полиэтиленовых труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.polyplastic.ua>

12. R. J. Wise. Thermal Welding Of Polymers. – Abington Publishing, Cambridge England, 1999 – 38 с.

13. Пат. US4288266A Method for heated tool butt welding of tube and pipe of thermoplastic materials. Klaus-Dieter KonradRudolf KellersohnHans SteckJosef Schaub.; заявл. 13.07.1978; опубл. 08.09.1981

14. Michael J. Troughton. Handbook Of Plastics Joining: A practical guide, Second Edition. – Norwich, NY, USA, 2008 – 577 с.

15. Оборудование для сварки полимерных материалов [Электронный ресурс].- Режим доступа <https://www.geoplenka.ru/articles/montage-geomembranes/svarkagv/>

16. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов СП 42-103-2003. Издание официальное. – М.: ЗАО «ПОЛИМЕРГАЗ», 2004. – 84 с.

17. 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.

18. Е.В. Данзанова, А.И. Герасимов, Г.В. Ботвин ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СВАРКИ НА ПРОЧНОСТЬ СВАРНОГО СТЫКОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ. Технологии и материалы – 2015 №3 (49), С. 48-52.

19. Красников М.А., Пожалов Ю.В., Соколов В.А. Механика разрушения стыковых сварных соединений полиэтиленовых труб при испытаниях на растяжение статической нагрузкой // Полимергаз, 2011. № 1. С. 36–38.

20. 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.

21. Wałęsa, Krzysztof & Malujda, Ireneusz & Górecki, Jan & Wilczyński, Dominik. (2019). The temperature distribution during heating in hot plate welding process. MATEC Web of Conferences. 254.

22. Данзанова Е. В., Герасимов А. И. Способы испытаний сварных соединений полиэтиленовых труб. Новые материалы и технологии в машиностроении – 2019; 30; 27-32.

23. Сварка полимерных материалов: Справочник (К.И. Зайцев, Л.Н. Мацюк, А.В. Богдашевский и др.; Под общ. Ред. К.И. Зайцева, Л.Н. Мацюк. М.: Машиностроение, 1988. – 312 с.

24. РД 03-615-03 Порядок применения сварочных технологий при изготовлении, монтаже, ремонте и реконструкции технических устройств для опасных производственных объектов.

25. СП 42-103-2003. Свод правил по проектированию и строительству. Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов.

26. ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. Введ.2015-07-01.-М.: Стандартиформ, 2014.-41с.:

27. ГОСТ 11262-2017(ISO 527-2:2012) Пластмассы. Метод испытания на растяжение.- Введ. 1980-12-01. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 16 с.:

28. РД 03-495-02 Технологический регламент проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства. – М., 2002.

29. ГОСТ Р 50838-2009 (ИСО 4437:2007) Трубы из полиэтилена для газопроводов. Технические условия. – Введ. 2009 – 12 – 15. – М.: Стандартиформ, 2012. – 62с.

30. ГОСТ Р 8.585-2001 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования. – Введ. 2001-11.21. – М.: Стандартиформ, 2010. – 81с.

31. ГОСТ 166-89 (СТ СЭВ 704-77 - СТ СЭВ 707-77; СТ СЭВ 1309-78, ИСО 3599-76) Штангенциркули. Технические условия (с Изменениями N 1, 2). – Введ. 1989 – 10 – 30. – М.: ИПК Издательство стандартов, 1997. – 19с.

32. СНиП 42-01-2002 Газораспределительные системы. Введ. 2003-07-01. – М.: Госстрой России, 2004.

33. РРС 03-1946 Методика ультразвукового контроля качества сварных стыковых соединений полиэтиленовых газопроводов.

34. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение (с Изменениями N 1, 2, 3) – Введ. 1984 – 07 -16. – М.: Стандартиформ, 2010. – 26с.

35. ГОСТ 18599-2001. Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия (с изм. №1).-Введ. 2003-01-01. – М.: Стандартиформ, 2008. – 96с.

36. Физические величины: Справочник / Бабичев Н.А., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др.: Под ред. Григорьева И.С., Мейлихова Е.З. – М.: Энергоатомиздат. 1991. – 1232 с.

37. Родионов А.К., Бабенко Ф.И., Коваленко Н.А. и др. Трещиностойкость сварных стыковых соединений полиэтиленовых труб // Материалы. Технологии. Инструменты. 2003. Т.8. № 3. – с. 19-20

38. Шурайц А.Л., Каргин В. Ю., Недлин М. С. Подземные полиэтиленовые газопроводы. Проектирование и строительство. – Саратов: ООО «Приволжск. изд-во», 2012 – 408 с.

39. Положение о ВКР. – ФГБОУ ВО «ТГУ» - 2017. – 23с.

40. Методические указания по оформлению выпускных квалификационных работ по программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры – ФГБОУ ВО «ТГУ» - 2020 – 39 с.

Приложение А

вспомогательное оборудование



Струбцина для устранения овальности труб



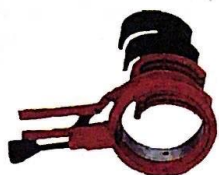
Передавливатели



Ножницы-секатор



Гильотина



Труборез



Скребок ручной



Скребок механический



Скребок механический



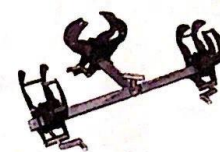
Обезжиривающие салфетки



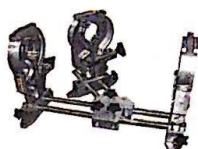
Аэрозоль для обнаружения утечек



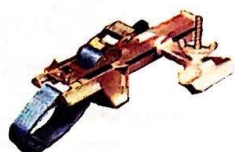
Позиционер-щипцы



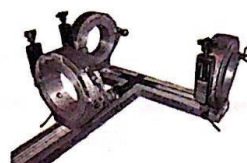
Позиционер «Пролайн»



Позиционер «HY-RAM»



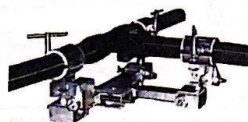
Позиционер для седловых отводов



Многоцелевой позиционер



Позиционер «Пролайн-K»



Позиционер «Ариас»