

На правах рукописи

ДАНЗАНОВА ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА

**СВАРКА ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ДЛЯ ГАЗОПРОВОДОВ ПРИ  
ЕСТЕСТВЕННО НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ**

Специальность 05.02.10 – Сварка, родственные процессы и технологии

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Москва – 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном  
учреждении науки  
Институте проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН

Научный руководитель: кандидат технических наук,  
Герасимов Александр Иннокентьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор  
Комаров Герман Вячеславович

кандидат технических наук, профессор  
Волков Станислав Степанович

Ведущая организация: ФГБУН Институт физико-технических  
проблем Севера СО РАН  
им. В.П. Ларионова

Защита состоится "22" мая 2012 г. в 15 часов в ауд. 232 на  
заседании диссертационного совета Д.212.200.10 при Российском  
государственном университете нефти и газа имени И.М. Губкина по адресу:  
119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 65.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке  
Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, подписанные и заверенные  
гербовой печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного  
совета.

Автореферат разослан "20" апреля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
профессор, доктор технических наук



Л. А. Ефименко

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы:** Низкая стоимость, легкий вес, простота технологии монтажных и сварочных работ, отсутствие необходимости дополнительной изоляции и долговечность материала способствовали широкому использованию полиэтиленовых (ПЭ) труб в газовых сетях вместо стальных по всему миру. Однако существование ограничения при проведении строительных работ по температуре окружающего воздуха (ОВ) несколько сдерживает темпы повсеместного внедрения данного перспективного материала. В средней полосе и, особенно в северных регионах Российской Федерации, с середины сентября по май месяц среднесуточная температура ОВ ниже минус 15 °С. Согласно действующим СНиП по проектированию и строительству газопроводов из полиэтиленовых труб при температурах ОВ ниже минус 15 °С сварочные работы производятся во временных укрытиях или сооружениях, в которых поддерживается температура из допустимого диапазона (от –15 °С до 45 °С). Такие вынужденные мероприятия приводят к удорожанию и сокращению сезона строительства полиэтиленовых газопроводов. С другой стороны, прерывание подачи газа ниже минус 40 °С в течение нескольких часов в энерго- и теплоснабжающие системы может привести к чрезвычайным ситуациям и в бедственном положении могут оказаться жители целых кварталов и поселков. Существующие методы разрушающего и неразрушающего контроля не всегда позволяют адекватно устанавливать качество сварного соединения. В связи с изложенным, возникает актуальная задача разработки технологических режимов сварки нагретым инструментом встык (НИВ) и сварки с закладным нагревательным элементом (ЗНЭ) при температурах воздуха ниже нормативных и разработки новых эффективных методов контроля качества сварных соединений.

**Объектом исследования** является контактная тепловая сварка термопластов, а предметом исследования является сварка полиэтиленовых труб при низких температурах.

**Целью работы** является обоснование технологической возможности выполнения качественной сварки полиэтиленовых труб нагретым инструментом встык и сварки закладным нагревательным элементом с применением муфты при температурах окружающего воздуха ниже минус 15 °С без строительства временных укрытий.

Для достижения цели в работе поставлены следующие **задачи**:

- Определение технологических режимов сварки НИВ и сварки ЗНЭ полиэтиленовых труб при температурах ОВ, ниже нормативных с использованием комплексов программ «СТЫК-1», «ПОДОГРЕВ-1», «МУФТА», разработанных для анализа нестационарных температурных полей;
- Исследование эффективности существующих методов контроля качества сварных соединений;
- Исследование надмолекулярной структуры сварных соединений, изготовленных при различных режимах;
- Исследование качества стыковых и муфтовых сварных соединений, изготовленных при температурах ОВ, ниже нормативных по предлагаемым режимам.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

На основе управления тепловыми процессами при сварке нагретым инструментом встык полиэтиленовых труб в условиях естественно низких температур (до минус 45 °С), установлено, что при сварке при низких температурах участок свариваемой трубы с длиной вылета, равной пятикратной толщине трубы необходимо предварительно подогреть отдельным инструментом с температурой ниже температуры плавления полиэтилена, т.е. ниже 80 °С, затем свободно охладить до допустимой температуры ОВ для выравнивания температурного поля. Данные условия приводят к снижению температурных напряжений в сварном соединении до уровня, гарантирующего требуемую длительную прочность.

Установлено, что наибольшее влияние на прочность сварного стыкового соединения ПЭ труб оказывают размеры кристаллических образований микроструктуры отдельных участков зоны сварного соединения. Для обеспечения требуемой длительной прочности сварного соединения ПЭ труб размеры кристаллических образований в структуре материала на линии сплавления свариваемых поверхностей должны изменяться в пределах 5-15 мкм, что происходит при скорости охлаждения менее 1 °С/с в интервале температур от 135 °С до 80 °С.

**Достоверность** научных положений и выводов обеспечивается использованием стандартных и разработанных методов испытаний сварных соединений при статических нагрузках и изучения структуры сварных швов

методами световой и атомно-силовой микроскопии, большим объемом экспериментальных данных, применением комплексов программ, использующих методы вычислительной математики, совпадением расчетных и экспериментальных температурных данных при сварке в условиях низких температур.

**Практическая значимость и реализация результатов работы:** Найденные и обоснованные технологии сварки расширяют диапазон допустимых температур ОВ для проведения сварки ПЭ труб диаметром от 50 до 160 мм для газопроводов в сторону естественно низких температур без строительства дополнительных сооружений. Использование результатов данной работы позволяет определить прочность сварного соединения по зоне сплавления кратковременными испытаниями без нанесения надреза или удаления грата. Новизна предлагаемых решений подтверждена тремя патентами РФ на изобретения на способ сварки полимерных труб, одним патентом на изобретение на способ испытаний сварного стыкового соединения и одним положительным решением на выдачу патента на изобретение на способ испытания муфтовых сварных соединений. Результаты проведенных исследований приняты к использованию на ООО ПМК «Намгазстрой».

**Апробация результатов диссертации.** Основные результаты исследований докладывались и обсуждались: на всероссийской конференции молодых ученых «Материаловедение технологии и экология в третьем тысячелетии» (г. Томск, 2009 г.), XIV Международном симпозиуме имени академика М.А. Усова (г. Томск, 2010 г.), IX Международном симпозиуме по развитию холодных регионов «ISCORD» (г. Якутск, 2010 г.), научной конференции «Перспективы развития нефтегазового комплекса Республики Саха (Якутия)» (г. Якутск, 2010 г.), IV и V Евразийском симпозиумах «EURASTRENCOLD» (г. Якутск, 2008, 2010 гг.).

**Публикации.** По результатам выполненных исследований опубликовано 26 научных работ, в том числе 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, 1 статья в электронном научном журнале, 16 в материалах научных конференций различного уровня, 4 патента РФ на изобретение.

**Личный вклад автора** заключается в определении технологических режимов и проведении экспериментальной сварки при низких температурах ОВ, обработке полученных результатов, разработке методов испытаний для

контроля качества сварных соединений, обобщении теоретических и экспериментальных результатов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, общих выводов, списка использованной литературы из 137 наименований. Объем диссертации составляет 143 стр., включая 52 рисунка и 12 таблиц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность исследований, определены цели и задачи работы. Отмечается, что в данной работе, теоретические и экспериментальные результаты по сварке нагретым инструментом встык и закладным нагревательным элементом в основном получены для полиэтиленовых труб для газопроводов ПЭ80 SDR11 63×5,8, как наиболее удобных для отработки методик. Однако результаты исследований с равным успехом могут использоваться при разработке технологий сварки труб из различных пластмасс с различными типоразмерами.

**В первой главе** на основе литературных источников проведен анализ современного состояния проблемы применения полиэтиленовых труб. Показано, что применение ПЭ труб имеет существенное технико-экономическое преимущество по сравнению со стальными. Однако, существуют некоторые температурные ограничения по технологии сварки ПЭ труб. Литературный обзор работ по сварке полимерных материалов показал, что методы регулирования температурных режимов, основанные на особенностях теплофизических свойств полимерных материалов, используются недостаточно. Также в главе приведен анализ существующих методов испытаний неразрушающего и разрушающего контроля сварных соединений.

Отмечается вклад в изучение процессов при тепловой сварке полимерных материалов отечественными и зарубежными исследователями А.А. Адаменко, Ф.И. Бабенко, В.Е. Бухина, Б.Ф. Виндта, С.С. Волкова, У.Ш.-М. Гисера, К.И. Зайцева, Д.Ф. Кагана, Г.К. Кайгородова, В.Ю. Каргина, Е.А. Кашковской, Г.В. Комарова, Г.Н. Кораба, А.С. Стручкова и многих других.

На основании обобщения приведённого материала сделаны выводы по сложившемуся на сегодня уровню исследований, сформулированы цель и задачи исследования в диссертационной работе.

**Вторая глава** посвящена разработке технологии сварки нагретым инструментом встык полиэтиленовых труб ПЭ80 SDR11 63×5,8 при низких

температурах. Предлагается два подхода реализации сварки НИВ при низких температурах:

- 1) Без предварительного подогрева;
- 2) С предварительным подогревом.

При разработке технологии сварки НИВ полиэтиленовых труб при низких температурах без предварительного подогрева использовался комплекс программ «СТЫК-1», разработанный в Институте проблем нефти и газа СО РАН для анализа температурных полей при сварке. Основная идея сварки без предварительного подогрева заключается в увеличении продолжительности воздействия нагретым инструментом на торцы свариваемых труб для обеспечения такой же глубины проплавления при низких температурах ОВ, что и глубины проплавления, достигаемой при допустимых температурах (таблица 1). Охлаждение сварного соединения производится в теплоизоляционной камере для обеспечения необходимого темпа охлаждения сварного соединения.

Таблица 1 Продолжительность нагрева при сварке полиэтиленовых труб ПЭ80 SDR11 63×5,8 (согласно программы «СТЫК-1»)

Температура ОВ, °С	Продолжительность нагрева, с	Температура нагретого инструмента, °С
- 20	79	220
- 30	88	230
- 40	96	230
- 50	104	230
- 60	116	230

Также в главе рассматривается сопоставление расчетных температурных данных, полученных комплексом программ «СТЫК-1», с экспериментальными данными, полученными при натуральных испытаниях с использованием медь-константановых термопар с помощью многоканального программного регулятора температуры с графическим дисплеем ТЕРМОДАТ–17ЕЗ. Показано, что расхождение составляет около 5-6 °С.

Суть второго подхода сварки НИВ заключается в подогреве участка свариваемых торцов трубы с длиной вылета, равной пятикратной толщине стенки трубы, отдельным нагретым инструментом непосредственно перед сваркой и последующим охлаждением для выравнивания температурного поля области сварки до значений допустимой температуры ОВ, согласно действующим нормативным документам. Известно из работ Института

электросварки им. Е.О. Патона, что на удалении от стыка на расстояние, равное пятикратной толщине стенки полимерной трубы, термические напряжения, обусловленные сваркой, исчезают. Продолжительности предварительного подогрева и охлаждения для выравнивания температур рассчитывали с использованием комплекса программ «ПОДОГРЕВ-1» (таблица 2).

Таблица 2 Продолжительности предварительного подогрева и охлаждения при сварке полиэтиленовых труб ПЭ80 SDR11 63×5,8

Температура ОВ, °С	Продолжительность подогрева, с	Время охлаждения, с
-20	138	220
-30	147	181
-40	156	158
-50	164	136

По предлагаемым технологическим режимам проводилась сварка ПЭ труб при температурах ОВ, ниже нормативных. Для оценки качества сварных швов использовались внешний осмотр, испытания на осевое растяжение, испытания на статический изгиб, определение границ области сплавления методом локального вторичного нагрева. Методами кратковременных испытаний на осевое растяжение показано, что качество сварных соединений не уступает качеству сварных соединений, полученных при допустимых температурах.

При испытаниях на статический изгиб было выявлено, что предельный угол прогиба в 160 ° выдерживают без разрушения и появления трещин все сварные стыковые соединения. Испытания методом локального вторичного нагрева показали, что форма, размеры и границы областей сплавления сварных стыковых соединений, изготовленных при низких температурах с предварительным подогревом идентичны области сплавления сварных соединений, изготовленных при комнатной температуре (23±3) °С.

**Третья глава** посвящена разработке технологии сварки ЗНЭ при температурах ОВ, ниже нормативных. Разработка технологического режима сварки ЗНЭ при температурах воздуха, ниже нормативных, сводится к обеспечению в области сварного соединения температуры из регламентированного диапазона проведения сварочных работ путем предварительного подогрева области сварки, используя закладной металлический элемент самой сварочной муфты отдельным источником питания. В таблице 3 приведены расчетные продолжительности подогрева для



полиэтиленовой трубы ПЭ80 ГАЗ SDR11 63×5,8 при различных температурах ОВ, полученные с помощью комплекса программ «МУФТА», которые обеспечивают, после выдерживания определенного фиксированного времени, равного 120 с, более однородное температурное поле равное 20°C. Для сварочного аппарата имитируется температура ОВ из допустимого диапазона температур производства сварки, равная (23±3°C).

Таблица 3 Продолжительность предварительного подогрева при муфтовой сварке полиэтиленовых труб ПЭ80 ГАЗ SDR11 63×5,8 при различных температурах ОВ

Температура ОВ, °С	Расчетное время подогрева, мин	Средняя температура в области сварного соединения, после 120 с. охлаждения, °С
- 20	10	20
- 30	13	20
- 40	17	20
- 50	21	20

На рис. 1 и 2 видно, что изменения температурного поля сварки и охлаждения в области сварного муфтового соединения при температурах окружающего воздуха при плюс 22 и минус 33 °С одинаковы.

Полученные муфтовые сварные соединения были подвергнуты испытаниям на сплющивание и на отслаивание. В диссертации показано, что испытания на сплющивание выдерживают все сварные соединения, полученные даже с нарушением технологического режима. Оценка качества сварного соединения по максимальной разрушающей нагрузке при испытаниях на отслаивание оказалась непригодной, т.к. разрушение происходит или по основному материалу трубы, или по отверстию приложения нагрузки на муфте.

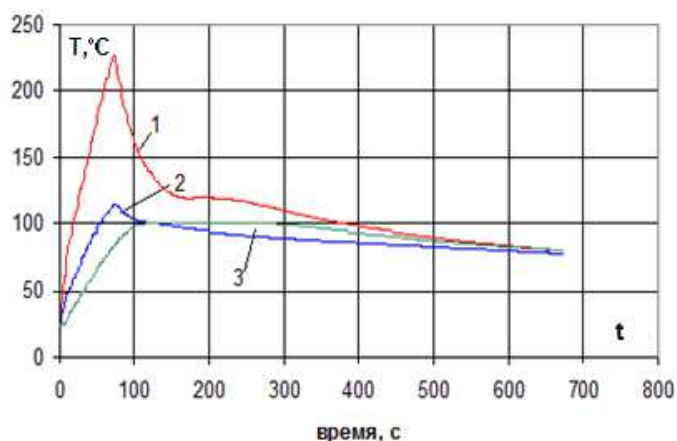


Рисунок 1 - Распределение температуры в процессе стандартной сварки при допустимой температуре ОВ, равной 22 °С. Расположение термопар: 1 - между трубой и муфтой, 2 - в сварочной муфте, 3 - в трубе

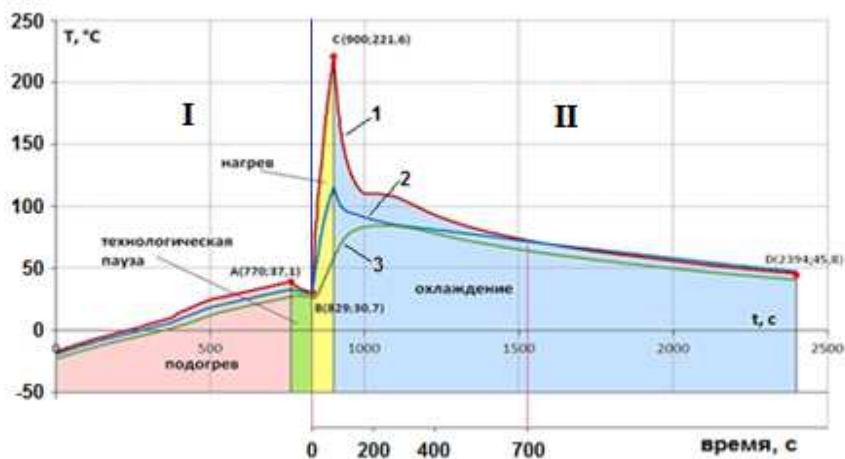


Рисунок 2 - Распределение температуры в процессе сварки по предлагаемому технологическому режиму (I – подогрев, II – сварка и охлаждение) при температуре ОВ равной минус 33 °С. Расположение термодатчиков: 1 - между трубой и муфтой, 2 – в муфте, 3 – в трубе

**В четвертой главе** приведено исследование эффективности различных режимов сварки ПЭ труб. Эффективность режимов проверялась следующими методами: определением физико-механических свойств зон сварного стыкового соединения полиэтиленовых труб, исследованиями степени кристалличности с помощью дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК), длительными испытаниями в активной среде, а также измерением прочности сварного соединения без нанесения надреза и удаления грата. На рис. 3 приведено принятое в работе разделение на зоны сварного стыкового соединения ПЭ трубы. Для детального исследования сварного стыкового соединения из каждой зоны вырезались образцы-пленки. Затем, согласно ГОСТ 14236 – 81, проводились испытания на растяжение. Таким образом, разработанная методика позволила определить физико-механические свойства материала приведенных зон сварного стыкового соединения.

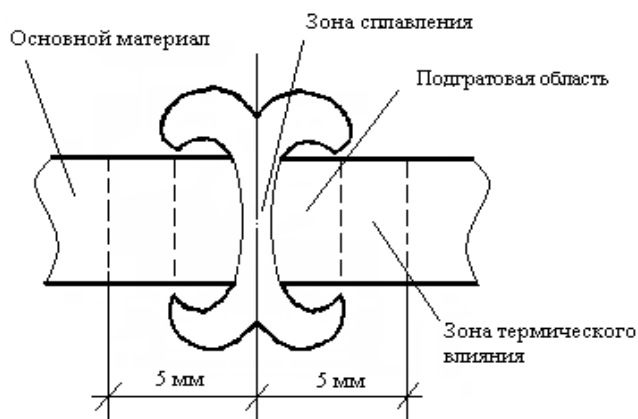


Рисунок 3 – Схема разделения на зоны сварного стыкового соединения ПЭ труб

На рис. 4 приведены результаты испытаний на растяжение образцов из зон сварных стыковых соединений, которые были изготовлены: при комнатной температуре ОВ (+23°C) по стандартной технологии, при температуре ОВ, равной минус 40 °С сварка производилась без предварительного подогрева. Полученные данные свидетельствуют о том, что в сварном соединении наименее прочной является зона сплавления вне зависимости от условий сварки. Значения предела текучести материала зон сварных соединений, произведенных при различных условиях сварки, сильно не различаются и находятся на одном уровне в пределах 11,7-12,6 МПа. Зона сплавления характеризуется сниженными значениями относительного удлинения при максимальной нагрузке.

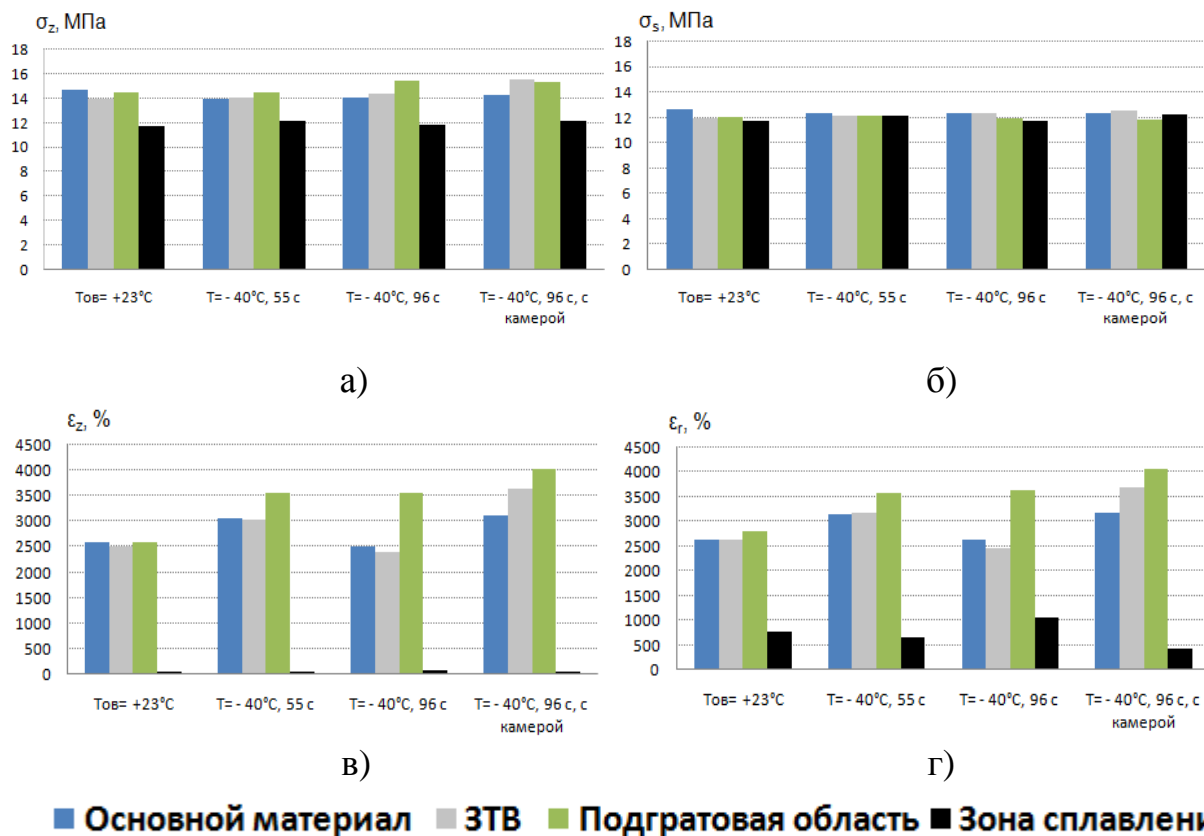


Рисунок 4 - Результаты испытаний на растяжение сварного стыкового соединения по зонам: а) прочность при растяжении и; б) предел текучести; в) относительное удлинение при максимальной нагрузке; г) относительное удлинение при разрыве

Разработанная методика определения свойств сварного стыкового соединения позволяет исследовать отдельно каждую зону, но не выявляет

нарушения технологических параметров сварки НИВ. Данный факт, косвенным образом, свидетельствует об однородном характере надмолекулярных образований основного объема материала зон, независимо от того, при какой температуре ОВ были произведены сварочные работы, т.к. влиянию температур подвержены наружные поверхности трубы и сварного соединения, которые, в свою очередь, в испытываемых образцах-лентах находятся на боках, размер которых равняется толщине образцов-лент. Об однородности надмолекулярной структуры глубинных слоев ПЭ трубы при различных скоростях охлаждения отмечают Г. К. Кайгородов, В. Ю. Каргин и др.

Исследовалась степень кристалличности каждой зоны методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК). Была обнаружена обратная пропорциональная зависимость прочностных характеристик от степени кристалличности материала сварного соединения полиэтиленовой трубы по зонам (рис. 5).

Испытаниям на длительное растяжение в активной среде при температуре 95 °С подвергали сварные стыковые соединения труб из ПЭ80 ГАЗ SDR11 63×5,8, изготовленные в интервале температур ОВ при сварке от минус 40 °С до плюс 43,5 °С. При температурах ниже минус 15 °С сварка производилась по разработанным технологическим режимам.

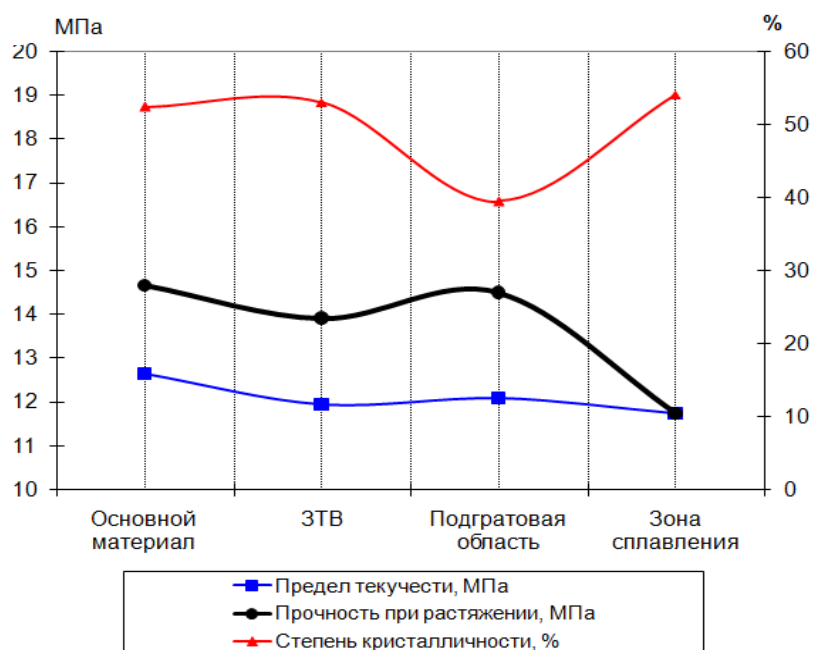


Рисунок 5 -  
Зависимость прочностных характеристик от степени кристалличности сварного соединения по зонам сварного стыкового соединения ПЭ труб

Видно (таблица 4), что сварные стыковые соединения, изготовленные при температурах ОВ ниже минус 15 °С с предварительным подогревом,

выдержали более 30 часов, что выше показателей сварных соединений, изготовленных технологическим режимом, определенным с использованием комплекса программ «СТЫК-1», без предварительного подогрева. Комплекс исследований показывает, что из двух предлагаемых подходов сварки НИВ предпочтительнее подход с предварительным подогревом.

Таблица 4 Время до разрушения при испытаниях на длительное растяжение сварных соединений, изготовленных при низких температурах ОБ

Температура ОБ при сварке, °С	Режим сварки			
	Время нагрева 55 с	Время нагрева «СТЫК-1»	Время нагрева «СТЫК-1», (охлаждение в камере)	Предварительный подогрев «ПОДОГРЕВ-1», (охлаждение в камере)
- 30	54 мин	11 ч 27 мин	44 мин	39 ч
- 40	1 ч 26 мин	7 ч 8 мин	27 мин	64 ч
- 49	-	-	-	48 ч

Действующие методики определения качества сварного стыкового соединения полиэтиленовых труб не позволяют количественно определить прочность соединения ПЭ труб по стыку сварки, т.е. при испытаниях на прочность разрушение происходит по основному материалу. В связи с этим была разработана методика определения прочности сварного стыкового соединения ПЭ труб, суть которой заключается в испытаниях сварных соединений с заданной площадью сварки.

Для получения образцов сварного соединения с заданной площадью сварки, для соответствующего типоразмера пластмассовой трубы изготавливается шаблон из тонкого теплоизоляционного материала, размещаемого между торцами труб и препятствующего их сварке по всему периметру материала. Шаблон (Рис. 6) обеспечивает получение образцов-лопаток с площадью сваренных участков, равной или не большей, чем сечение рабочей части основного материала образца-лопатки.

В процессе сварки шаблон устанавливается между торцами свариваемых труб после удаления нагретого инструмента, т.е. дальнейшее охлаждение сварного соединения под давлением осадки производится уже в контакте с шаблоном. Таким образом, достигается заданная площадь сварки. Полученные по ГОСТ 11262-80 образцы-лопатки испытывали на осевое растяжение. Так как

наименьшей прочностью обладает область сварного соединения, то при условии равенства поперечного сечения образца-лопатки и стыка сварки, разрушение происходит по стыку сварного соединения.



Рисунок 6 - Шаблон для создания заданной площади сварки

На рис. 7 представлены результаты испытаний на растяжение по предложенной методике сварных соединений, изготовленных в диапазоне температур ОВ от минус 43 °С до 45 °С.

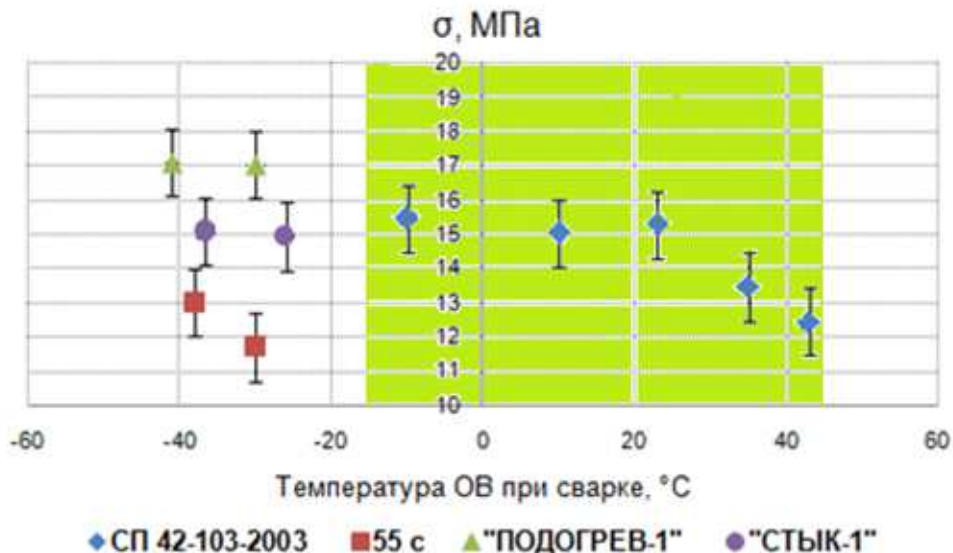


Рисунок 7 - Значения разрушающего напряжения сварных стыковых соединений, изготовленных при различных температурах ОВ

Видно, что значения разрушающего напряжения сварных соединений, полученных при низких температурах по предлагаемым технологиям, находятся на одном уровне со значениями разрушающего напряжения сварных соединений, полученных при регламентированном диапазоне температур. Разрушающее напряжение сварных соединений, полученных при низких температурах с предварительным подогревом, оказалось выше.

Разработанную методику испытания сварных стыковых соединений можно использовать в качестве метода определения прочности по стыку сварки, а также в качестве инструмента при выборе наилучших технологий сварки НИВ полимерных труб.

Характер надмолекулярной структуры исследуемого участка шва, размеры структурных образований существенно влияют на прочностные характеристики, а также на их стабильность при испытаниях. Исследования надмолекулярной структуры различных участков сварных стыковых соединений, изготовленных по различным технологическим режимам, проводили методами оптической (оптический микроскоп Альтами ПОЛАР 312) и атомно-силовой микроскопии (сканирующий зондовый микроскоп «Ntegra»). На рис. 8 представлены фотографии микроструктур осевой линии сплавления сварных стыковых соединений, изготовленных по различным режимам. Надмолекулярная структура швов, полученных при использовании программ «ПОДОГРЕВ-1», наиболее идентична структуре шва, полученного при стандартной сварке. При этом размеры сферолитов варьируются в пределах 5-15 мкм (Рис. 8 а, г). Также следует отметить, что сферолиты немного вытянуты вдоль оси трубы. Вероятно, это вызвано усадкой материала шва, связанной с тем, что концы свариваемых труб жестко фиксированы.

Надмолекулярная структура сварных соединений, изготовленных при температуре минус 30 °С с нарушением режима (укороченное время нагрева) и без предварительного подогрева (Рис. 8 б, в) характеризуется мелкими сферолитами (размеры от 2 до 8 мкм) с трудно различимыми границами раздела, что можно объяснить чрезмерно быстрым охлаждением.

Таким образом, микроскопические исследования показали, что режим сварки при низких температурах оказывает существенное влияние на размеры и форму надмолекулярных образований ПЭ. Однако, использование при сварке в условиях низких температур ОБ предварительного подогрева позволяет получить надмолекулярную структуру сварного соединения, схожую со

структурой сварных соединений, полученных при стандартной сварке, и тем самым обеспечивается требуемый комплекс физико-механических характеристик сварного соединения.

### Режим сварки

$T_{об} = + 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
стандартный режим

$T_{об} = - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
сварка с нарушением  
стандартного  
режима

$T_{об} = - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
сварка без  
предварительного  
подогрева,  
(«СТЫК-1»)

$T_{об} = - 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  
сварка с  
предварительным  
подогревом,  
(«ПОДОГРЕВ-1»)

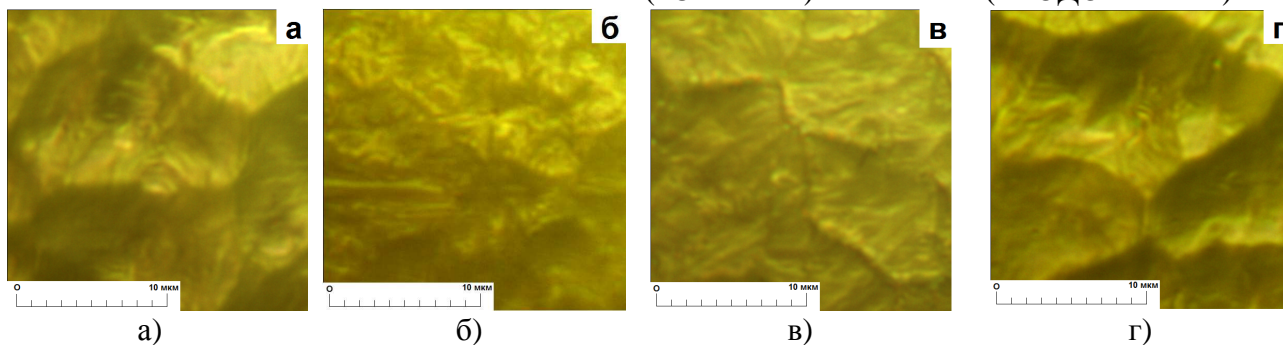


Рисунок 8 – Микроструктура материала на осевой линии сплавления сварного стыкового соединения, полученного при различных режимах ( $\times 1000$ )

Для испытаний муфтовых сварных соединений была разработана методика изготовления образцов с заданной площадью сварки. Заданная площадь сварки достигается путем нанесения барьерного слоя, препятствующего свариванию, полосами равной половине ширины испытуемого образца, перед проведением сварки ЗНЭ. Далее концы труб, исключая повороты, вставляются в муфту, и производится сварка. Затем проводятся испытания на отслаивание согласно ISO 13954. Так как зона сварки занимает половину площади образца, отслаивание происходит именно по зоне сплавления, что позволяет определить прочность муфтовых сварных соединений, изготовленных с использованием различных режимов.

Видно (рис. 9), что значения максимальной разрывной нагрузки муфтовых сварных соединений, полученных при низких температурах по предлагаемой технологии с предварительным подогревом, не ниже значений максимальной разрывной нагрузки сварных соединений, изготовленных при комнатной температуре. Таким образом, установлена эффективность предлагаемой технологии сварки ЗНЭ при низких температурах.



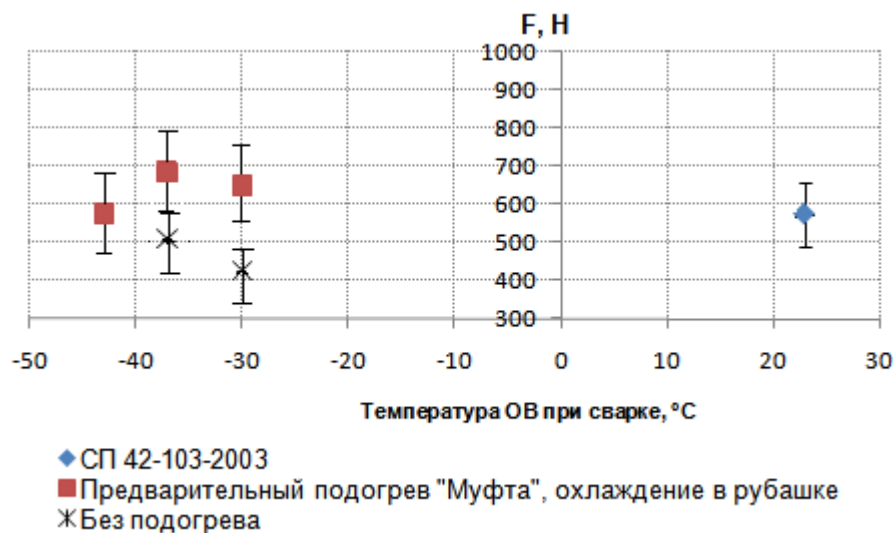


Рисунок 9 - Значения максимальной разрывной нагрузки сварных соединений, изготовленных при различных температурах ОВ

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На базе комплекса исследований механических свойств сварных соединений научно обоснованы и оптимизированы технологии сварки нагретым инструментом встык и сварки с закладным нагревательным элементом полиэтиленовых труб из ПЭ80 при температурах окружающего воздуха ниже минус 15 °С;

2. В результате исследований эффективности стандартизованных методов разрушающего и неразрушающего контроля качества сварных соединений обнаружено, что существующие испытания зачастую не выявляют нарушения технологии сварки и не дают количественную оценку прочности сварного соединения

3. Разработанная методика, позволяет оценить прочностные свойства зон сварного стыкового соединения полимерных труб. Установлено, что прочность зоны сплавления сварного соединения полиэтиленовых труб ПЭ80 ГАЗ SDR11 63×5,8 ниже на 11 – 20 %, чем прочность остальных зон;

4. На основе изучения надмолекулярной структуры материала сварных соединений ПЭ труб, установлено, что требуемый комплекс физико-механических свойств обеспечивается микроструктурой с размерами надмолекулярных образований 5-15 мкм;

5. Установлено, что предлагаемые технологии сварки нагретым инструментом встык и сварки закладным нагревательным элементом при естественно низких температурах обеспечивают необходимый уровень качества и по исследованным показателям не уступают показателям соединений, изготовленных при температурах из допустимого интервала температур производства сварочных работ;

6. Установлено, что при производстве сварочных работ на открытом воздухе при температурах ОВ ниже минус 15 °С, необходимо использовать предварительный подогрев свариваемых торцов и деталей полиэтиленовых труб.

**Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:**

1. Данзанова Е.В. Метод определения прочностных свойств зон стыкового сварного соединения полимерных труб / Е.В. Данзанова, А.И. Герасимов // Технология металлов. - 2010. -№ 2. -С. 27-30.

2. Данзанова Е.В. Сварка полимерных газопроводов при низких температурах / Н.П. Старостин, А.И. Герасимов, Е.В. Данзанова // Сварочное производство. - 2010. -№ 7. -С. 43-45.

3. Данзанова Е.В. Определение физико-механических характеристик зоны сварного стыкового соединения полимерных труб / А.И. Герасимов, Е.В. Данзанова // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. - 2010. -№ 7. -С. 55-57.

4. Данзанова Е.В. Математическое моделирование теплового процесса электромужфтовой сварки полиэтиленовых труб при низких температурах / Н.П. Старостин, В.В. Сивцева, Е.В. Данзанова // Сварочное производство. - 2011. - №8. -С. 25-29.

5. Данзанова Е.В. Стыковая сварка полиэтиленовых труб в условиях низких температур / Н.П. Старостин, М.А. Васильева, Е.В. Данзанова, О.А. Аммосова // Сварочное производство. – 2012. -№ 1. –С.45-48.

6. Данзанова Е.В. Вопросы контроля качества сварных соединений полиэтиленовых труб для газопроводов / Е.В. Данзанова // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело»  
[http://www.ogbus.ru/authors/Danzanova/Danzanova\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Danzanova/Danzanova_1.pdf) 2009.С. 1-8.