

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр» Сибирского
отделения Российской академии наук «Институт проблем нефти и газа»
Сибирского отделения Российской академии наук

УДК 621.791.461
ГРНТИ 81.35.35

На правах рукописи



БОТВИН ГЛЕБ ВЛАДИМИРОВИЧ

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ
ТРУБ НАГРЕТЫМ ИНСТРУМЕНТОМ В РАСТРУБ ПРИ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОКРУЖАЮЩЕГО ВОЗДУХА**

Специальность 05.02.10– Сварка, родственные процессы и технологии

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор Н.П. Старостин

Якутск – 2019

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ	12
1.1. Применение полипропиленовых труб в строительстве.....	12
1.2. Исследование физико-механических свойств материала полипропиленовых труб в зависимости от температуры.....	20
1.3. Способы сварки полипропиленовых труб.....	23
1.4. Методы контроля качества сварных раструбных соединений.....	32
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ В РАСТРУБ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОВ	37
2.1. Исследование процесса сварки полипропиленовых труб нагретым инструментом в раструб при различных температурах окружающего воздуха.....	37
2.2. Моделирование теплового процесса оплавления, технологической паузы и остывания.....	39
2.3 Моделирование теплового процесса в стенках полипропиленовой трубы и муфты при предварительном подогреве.....	48
2.4 Разработка способа расширения интервалов допустимых температур окружающего воздуха для сварки полипропиленовых труб	58
2.5 Определение технологических параметров сварки нагретым инструментом в раструб и продолжительности охлаждения полипропиленовых труб различного сортамента при низких температурах.....	59
2.6 Определение глубины паза сменной насадки для подогрева.....	61
2.7. Расчет толщины теплоизоляции.....	65
2.8. Проведение сварки полипропиленовых труб при температурах воздуха ниже нормативных согласно скорректированным технологическим параметрам.....	72
ГЛАВА 3. ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	84
3.1. Формировании структуры полимерных материалов при термической обработке.....	84
3.2. Исследование надмолекулярной структуры материала сварных раструбных соединений полипропиленовых труб.....	85
3.3. Исследование материалов зон сварных соединений методом дифференциальной сканирующей калориметрии.....	104
ГЛАВА 4 ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	116

ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ.....	
4.1. Механические испытания.....	116
4.1.1 Испытания на статический отдир.....	116
4.1.2. Испытания на сдвиг сжатием.....	118
4.2. Испытания сварных соединений давлением.....	122
4.2.1. Гидравлическое испытание напорных трубопроводов.....	122
4.2.2. Испытания на стойкость при постоянном внутреннем давлении.....	124
4.3. Исследования сварного шва методом вторичного локального нагрева.....	128
4.4. Разработка методов испытаний на прочность.....	131
4.4.1 Кратковременные испытания на осевое растяжение.....	134
4.4.2. Испытания на длительное растяжение.....	134
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.....	139
ЛИТЕРАТУРА.....	141
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	157
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	167
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	168

Введение

Применение труб из полимерных материалов для систем теплоснабжения и канализации позволяет коренным образом решить проблемы их защиты от коррозии, значительно повысить долговечность, сократить расходы на строительство и минимизировать затраты на эксплуатацию. В то же время согласно действующим нормативным документам [113] из-за низких температур воздуха работы по строительству трубопроводных систем из полипропиленовых (ПП) труб на открытом воздухе могут вестись не более 110 дней в п. Тикси, 160 дней в г. Якутске, 190 дней в г. Улан-Удэ в год [112]. Действующие нормативно-технические документы (НТД) содержат температурные ограничения по транспортировке и сварке. Транспортирование, погрузка и разгрузка полипропиленовых труб должны проводиться при температуре окружающего воздуха (ОВ) не ниже минус 10 °С. Допускается транспортирование при температуре до минус 20°С при фиксации труб и соблюдении особых мер предосторожности. Контактная сварка полипропиленовых труб и деталей трубопроводов должна проводиться при температуре окружающего воздуха не ниже 0 °С, либо в отапливаемых укрытиях. Для решения указанных проблем необходима разработка способов обеспечения теплового состояния, требуемого для осуществления транспортировки полипропиленовых труб при температурах воздуха ниже нормативных, а также разработка технологии сварки ПП труб при низких температурах. Решение этих актуальных научных проблем позволит существенно увеличить период строительно-монтажных работ и сократить затраты на их проведение.

В настоящее время технология сварки ПП труб для водоснабжения нагретым инструментом в раструб при низких температурах до сих пор не разработана. Это связано, прежде всего, с отсутствием методов определения технологических параметров сварки в условиях низких температур.

Актуальной проблемой является разработка основ сварки ПП труб при низких температурах. Решение этой актуальной научной проблемы позволит

обосновать возможность строительства систем водоснабжения из полипропиленовых труб при низких температурах ОВ без строительства отапливаемых укрытий.

Установление ограничения по температуре наружного воздуха, при котором допускается проводить сварочные работы, связано с недостаточным использованием возможностей существующей технологии сварки. Практически не используются методы управления температурным режимом сварки. Регулирование температурным режимом и обеспечение такого же температурного поля при нагреве и такого же темпа охлаждения, как и при допустимых температурах наружного воздуха, позволит провести сварку ПП труб при температурах воздуха ниже нормативных и обеспечит требуемую прочность соединения.

В ИПНГ СО РАН предложены технологии сварки полиэтиленовых труб для газопроводов при низких температурах (до минус 50 °С) встык нагретым инструментом (стыковая сварка) и при помощи соединительных деталей с закладными нагревателями (муфтовая сварка) [4,5,88,89,116,117,122]. Раструбное соединение полипропиленовых труб отличается от стыкового и муфтового соединения. При раструбном соединении конец одной трубы входит в раструб соединительной детали (фитинга). Поскольку для раструбного соединения используется инструмент оплавления другой формы, чем при стыковой сварке, и не используется закладной нагреватель, как при муфтовой сварке, возникает необходимость разработки технологии сварки нагретым инструментом в раструб при низких температурах, отличающейся от стыковой и муфтовой.

Экспериментальное исследование температурного режима сварки и определение технологических параметров, обеспечивающих требуемую прочность сварного соединения в диапазоне низких температур наружного воздуха требует значительных материальных затрат и времени. В связи с этим при разработке технологии сварки полипропиленовых труб используются методы математического моделирования теплового процесса сварки, существенно сокращающие подобные затраты. Математическим моделированием

определяются способы регулирования температурным режимом сварки, обеспечивающие протекание теплового процесса по закономерностям, соответствующим изменению температуры при сварке при допустимых температурах воздуха.

В настоящее время в мировой практике имеется тенденция использования программных продуктов, алгоритм работы которого пользователю детально неизвестен. Тем не менее, пользователь, представляя, например, физику рассматриваемого процесса, изменяя параметры, получает множество вариантов технического решения. В данной работе автором были использованы 2 программы для расчета тепловых процессов при предварительном подогреве и сварке полипропиленовых труб, разработанные сотрудниками ИПНГ СО РАН и имеющие свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Используемые в работе программы ЭВМ позволяют в интерактивном (диалоговом) режиме варьировать теплофизические характеристики материала труб, геометрические размеры, температуру ОВ, технологические параметры и получать в удобной для пользователя табличной форме результаты моделирования нестационарного температурного поля на стадиях нагрева и охлаждения. Пользователь имеет возможность в диалоговом режиме оперативно вносить необходимые изменения в исходных данных и выводить результаты расчета в виде таблиц, удобных для построения графиков и анализа температурных полей. Комплексы программ не требуют специальной подготовки пользователя.

Использование этих программных средств и варьирование входными данными в сочетании с экспериментальными исследованиями по оценке качества сварных соединений позволят определить технологические режимы сварки полипропиленовых труб в раструб, обеспечивающие необходимую прочность сварного соединения.

При этом необходимо использовать значения удельной теплоемкости, полученные в результате исследований материала с помощью метода дифференциальной сканирующей калориметрии. Эффективный коэффициент

теплопроводности определять расчетным путем в результате сопоставления расчетных и экспериментальных температурных данных, полученных при подогреве и сварке реальных труб при низких температурах.

Для проверки эффективности предлагаемой технологии сварки при низких температурах необходимо проведение сварки по расчетным технологическим режимам при температурах воздуха ниже нормативных. Образцы, изготовленные из полученных сварных раструбных соединений полипропиленовых труб необходимо подвергать испытаниям по методикам, рекомендуемым нормативными документами. Критерием качества сварного соединения при этом служит соответствие показателя значениям, полученным на образцах при стандартной сварке в комнатных условиях. Кроме рекомендуемых методов испытаний, часть которых, на наш взгляд, неэффективна, необходимо разработать новые способы определения показателей качества.

Цель работы заключается в разработке технологии сварки полипропиленовых труб нагретым инструментом в раструб на открытом воздухе при низких температурах и научном обосновании условий формирования структуры материала шва, обеспечивающей прочность соединения не ниже, чем при сварке при допустимых нормативами температурах окружающего воздуха.

Для достижения цели поставлены следующие задачи :

- Изучение влияния низких температур при раструбной сварке полипропиленовых труб на структуру и свойства материалов зон сварных соединений.
- Исследование влияния скорости охлаждения на формирование структуры прочность материала сварного шва.
- Установление взаимосвязи структуры и свойств материалов зон сварного соединения;
- Обоснование условия формирования структуры полипропилена в зоне термического влияния при сварке в раструб при отрицательных температурах, обеспечивающего качественное соединение.
- Исследование влияния предварительного подогрева и применения теплоизоляционной камеры на формирование структуры сварного раструбного соединения.

- Определение оптимальных параметров сварки нагретым инструментом в раструб полипропиленовых труб при низких температурах.

- Обеспечение кратковременной прочности и длительной несущей способности материала шва при сварке в раструб при отрицательных температурах не ниже соответствующих показателей сварных соединений, выполненных при допустимых температурах.

- Разработка технологии сварки нагретым инструментом в раструб полипропиленовых труб при отрицательных температурах, обеспечивающую качество сварного соединения стандартной сварки.

Основные научные положения, выносимые на защиту

- Установленные закономерности влияния отрицательных температур окружающего воздуха при сварке полипропиленовых труб нагретым инструментом в раструб на структуру материала шва и его физико-механические свойства.

- Результаты исследования причин снижения прочности раструбных сварных соединений полипропиленовых труб, выполненных при отрицательных температурах.

- Выявленные условия формирования структуры материала шва раструбных соединений при сварке полипропиленовых труб при низких температурах окружающего воздуха подобной структуре материала сварных соединений выполненных при положительных температурах.

- Результаты определения технологических параметров раструбной сварки при отрицательных температурах, обеспечивающих структуру и прочность материала сварного шва, свойственные при сварке в условиях допустимых температур.

Научная новизна:

1. Установлено, что при раструбной сварке полипропиленовых труб независимо от температуры окружающей среды в области шва формируется сферолитная структура.

2. Установлено, что основной причиной снижения прочности сварных раструбных соединений полипропиленовых труб, выполненных при отрицательных температурах окружающего воздуха, является недостаточный нагрев периферии сварного соединения, что способствует увеличению кондуктивной теплопередачи при охлаждении, приводящей к формированию фибриллярной или фибриллярно-сферолитной структуры в участке вблизи шва и частично в зоне термического влияния трубы и муфты.

3. Установлено, что структура материала сварного шва, обеспечивающего прочное раструбное соединение полипропиленовых труб не ниже 90% от прочности основного материала, сферолитная с размерами сферолитов 4-5 мкм. Условия формирования такой структуры включают распределение температуры в конце нагрева близкое температурному полю сварки при допустимой температуре окружающего воздуха и охлаждение материала шва со скоростью $V_{105-100}=10$, $V_{100-90}=20$ °C/мин.

4. Научно обоснована и экспериментально доказана возможность получения качественного сварного соединения полипропиленовых труб на открытом воздухе при отрицательных температурах путем предварительного подогрева свариваемого участка трубы и муфты с выравниванием температуры, оплавления в штатном режиме и охлаждения в теплоизоляционной камере.

5. Определены сочетания оптимальных технологических параметров сварки полипропиленовых труб различного сортамента при отрицательных температурах ОВ, приводящие к формированию сферолитной структуры материала шва, обеспечивающую прочность соединения не ниже 90% от прочности основного материала.

Научная новизна разработок защищена патентами РФ на изобретения.

Рабочая гипотеза диссертационного исследования базируется на учете низкой теплопроводности и высокой теплоемкости полипропилена, обуславливающих длительное сохранение теплоты при сварке в условиях низких температур ОВ, а также на создании в полипропиленовой трубе в зоне термического влияния при раструбной сварке такого же температурного поля и

скорости остывания, что и при сварке в интервале допустимых температур окружающего воздуха.

Достоверность результатов исследований обеспечивается применением апробированных методов решения задач теплопроводности, стандартизованных методик, современного испытательного оборудования, выполнением большого объема экспериментов по сварке полипропиленовых труб при естественно низких температурах воздуха и испытаний полученных сварных соединений.

Практическая значимость и реализация результатов работы:

Разработанные и научно обоснованные технологии сварки нагретым инструментом в раструб расширяют диапазон допустимых температур ОВ до минус 50 °С при строительстве трубопроводов из полипропиленовых труб без использования временных отапливаемых укрытий.

Использование разработанной методики кратковременных механических испытаний позволяет количественно определить прочность сварного соединения полипропиленовых труб по выбранным зонам сварного шва.

Результаты проведенных исследований приняты к использованию в ПАО «Якутскэнерго».

Апробация результатов диссертации:

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались: на Всероссийской научно-практической конференции «Сварка и безопасность» (г. Якутск, 2012 г.), на Международном симпозиуме «Новые материалы и технологии в условиях Арктики» (г. Якутск, 2014 г.), на конференции «Материалы для технических устройств и конструкций, применяемых в Арктике» (г. Москва, 2015 г.), на международной конференции «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций» (г. Екатеринбург, 2016 г.), на конференции АСПМ «Сварка полимерных материалов» (г. Москва, 2017 г.).

Публикации. Основные результаты диссертации отражены в 18 публикациях, в том числе 6 статьях в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, в 2-х патентах РФ на изобретение, и в 2 свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора заключается в анализе научной литературы по сварке полимерных труб в различных условиях, в постановке задач исследований, подготовке и проведении экспериментальной сварки при низких температурах

ОВ, в получении, анализе и обобщении теоретических и экспериментальных результатов, внедрении разработок и включает:

1. Исследование влияния температур ОВ на степень кристалличности, структуру материала сварного шва и на динамику температурного поля при раструбной сварке ПП труб по существующей технологии и с ее нарушением.

2. Исследование тепловых процессов раструбной сварки ПП труб при различных температурах ОВ, включая естественно низкие температуры до -45°C .

3. Определение технологических режимов в зависимости от температуры ОВ и проведение сварки ПП с расчетными параметрами при отрицательных температурах регионов холодного климата. корректировка значений параметров.

4. Разработку методов испытаний для контроля качества сварных раструбных соединений, в том числе по зонам.

5. Исследование кратковременной и длительной прочности раструбных соединений, выполненных при отрицательных температурах по предлагаемым режимам сварки.

6. Разработку технологии сварки ПП труб в раструб при отрицательных температурах ОВ, обеспечивающей прочность соединения не ниже прочности соединений, выполненных при допустимых температурах.

Глава1. СОСТОЯНИЕ ИЗУЧАЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ

1.1. Применение полипропиленовых труб в строительстве

Полипропилен- один из самых крупнотоннажных полимеров в мире. Производство полипропилена составляет около 20 % от мирового производства всех полимерных материалов и имеет тенденцию роста. По объему производства он уступает только полиэтилену. Этот полимер может перерабатываться всеми высокотехнологичными и производительными способами переработки полимеров, включая экструзию и литье под давлением. Благодаря сочетанию ценных эксплуатационных свойств, полипропилен имеет широкий спектр практического применения, в котором пленки, волокна, детали автомобилей, большой ассортимент слабонагруженных изделий, детали бытовой аппаратуры, трубы для водо- и теплоснабжения и многое другое. Полипропилен – синтетический термопластичный неполярный полимер, принадлежащий к классу полиолефинов. Продукт полимеризации пропилена. Твердое вещество белого цвета. Выпускается в форме гомополимера и сополимеров, получаемых сополимеризацией пропилена и этилена в присутствии металлоорганических катализаторов при низком и среднем давлениях, в виде гранул стабилизированных, окрашенных или неокрашенных.

Полипропилен – пластический материал, отличающийся высокой прочностью при ударе и многократном изгибе, износостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами в широком диапазоне температур, высокой химической стойкостью, низкой паро- и газопроницаемостью. В тонких пленках практически прозрачен. Стоек к кислотам, щелочам, растворам солей, минеральным и растительным маслам при высоких температурах. При комнатной температуре нерастворим в органических растворителях. Растворяется только при повышенных температурах в сильных растворителях: хлорированных, ароматических углеводородах. Полипропилен легко перерабатывается. Хорошо смешивается с красителями. Легко подвергается хлорированию. Легко

кристаллизуется (максимальная степень кристалличности 75%). Все изделия из полипропилена выдерживают кипячение, и могут стерилизоваться паром без какого-либо изменения их формы или механических свойств. Максимальная температура эксплуатации полипропилена 120-140°C. При температурах от минус 5 – минус 15 °С полипропилен становится хрупким. Незначительные деформации могут привести к разрушению материала. В связи с этим для изделий из полипропилена имеются температурные ограничения по транспортировке, разгрузке, погрузке, монтажу.

Полипропилен чувствителен к свету и кислороду (чувствительность понижается при введении стабилизаторов). Имеющуюся невысокую морозостойкость можно повысить введением в макромолекулу изотактического полипропилена звеньев этилена (например, при сополимеризации пропилена с этиленом). При увеличении содержания этилена снижаются другие эксплуатационные характеристики сополимера полипропилена, например, разрушающее напряжение при растяжении. Чтобы сохранить свойственные полипропилену высокие эксплуатационные характеристики, повышают морозостойкость полипропилена незначительно.

Обычное обозначение полипропилена на российском рынке – ПП, но могут встречаться и другие обозначения: РР (полипропилен), РР НО или РР homopolymer (полипропилен гомополимер), НРРР (высокоизотактический полипропилен гомополимер), РР-Х, РР-ХМОД (сшитый полипропилен), РРСР или РР/Со или РР block-copolymer или РР impactcopolymer (полипропилен блок-сополимер, блок-сополимер пропилена и этилена), РРМ (блок-сополимер пропилена и этилена с низким содержанием полиэтилена), РРР (блок-сополимер пропилена и этилена со средним содержанием полиэтилена), РРУ (блок-сополимер пропилена и этилена с высоким содержанием полиэтилена), РРН (блок-сополимер пропилена и этилена с очень высоким содержанием полиэтилена), РР randomcopolymer (статистический сополимер пропилена и этилена), РР-EPDM или РР/EP (смесь полипропилена и тройного сополимера этилена, пропилена и диена), ЕРР (вспенивающийся полипропилен), ЕМРР

(полипропилен, модифицированный каучуком), mPP (металлоценовый полипропилен).

Условное обозначение отечественного полипропилена и сополимеров пропилена, выпускаемых в соответствии с ГОСТ 26996-86 [28], состоит из названия материала «полипропилен» или «сополимер» и пяти цифр. Первая цифра 2 или 0 указывает на то, что процесс полимеризации протекает на комплексных металлорганических катализаторах при низком или среднем давлении соответственно. Вторая цифра указывает вид материала: 1 – полипропилен; 2 – сополимер пропилена. Три последующие цифры обозначают десятикратное значение показателя текучести расплава. Далее через тире указывают номер рецептуры стабилизации, затем сорт и обозначение стандарта, в соответствии с которым изготавливается полипропилен и его сополимеры.

Пример условного обозначения полипропилена марки 21020, стабилизированного по рецептуре 02, 1-го сорта: Полипропилен 21020-02, сорт 1, ГОСТ 26996-86.

При выпуске окрашенного полипропилена или сополимера в обозначении дополнительным словом указывают цвет и трехзначное число, обозначающее номер рецептуры окрашивания.

Пример условного обозначения полипропилена марки 21030, стабилизированного по рецептуре 06, окрашенного в красный цвет по рецептуре 105, 1-го сорта: Полипропилен 21030-06, красный, рец. 105, сорт 1, ГОСТ 26996-86.

Исходя из условного обозначения полипропилена, разделив число из трех последних цифр в марке полипропилена на 10, можно найти ПТР и определить наиболее подходящий способ переработки конкретной марки ПП. ПТР < 1 - экструзия; ПТР от 2,5 до 4 - экструзия с раздувом, ПТР 3 и более - литье под давлением.

Марки полипропилена и сополимеров пропилена устанавливаются в зависимости от способа их получения, свойств и назначения.

В соответствии с ГОСТ 26996-86 полипропилен низкого давления включает в себя одиннадцать марок: 21003, 21007, 21012, 21015, 21020, 21030, 21060, 21100, 21130, 21180, 21230; полипропилен среднего давления включает в себя четыре марки: 01003, 01005, 01010, 01020; сополимеры полипропилена низкого давления включают в себя три марки: 22007, 22015, 22030.

Особенности взаимосвязи структуры и свойств полипропилена детально изучены [100,75,55,127]. В таблице 1.1 приведены некоторые свойства полипропилена и сополимеров полипропилена [28].

Таблица 1.1

Свойства полипропилена и сополимеров полипропилена

Наименование показателя	Норма	
	Полипропилен	Сополимеры полипропилена
Плотность, кг/м ³	900-910	900
Водопоглощение за 24 ч, %	0,01- 0,03	0,01- 0,03
Линейная усадка в форме, %	1,0 - 2,5	1,5-1,9
Температура плавления, °С	160 - 168	160 - 165
Теплостойкость при нагрузке 46 Н/см ² , °С	140 - 145	120 - 140
Температура хрупкости, °С	(+5) – (-15)	(-50) – (-60)
Коэффициент линейного расширения (от 30 до 100 °С), 1/°С	(1,1-1,8) · 10 ⁻⁴	(1,1-1,8) · 10 ⁻⁴
Удельная теплоемкость при 20 °С, кДж/(кг·°С)	1,93	1,93
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,16 – 0,22	0,16 – 0,22
Предел текучести при растяжении полипропилена низкого давления, МПа	30-38	-
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	24,5 - 39	-
Относительное удлинение при разрыве	200 - 1000	-
Модуль упругости при изгибе, МПа	1220 - 1670	980 - 1370
Максимальная температура при длительной эксплуатации изделий (без нагрузки), °С	100 - 110	100 - 110
Ударная вязкость по Изоду, кДж/м ² : при 0 °С	3 -5	-

при минус 20 °С	2 -3	-
-----------------	------	---

На рынке присутствуют и другие марки полипропилена, поскольку большинство производителей работает согласно собственным ТУ. В связи с этим свойства материалов полипропиленовых труб могут варьировать не только в интервалах изменения, приведенным в таблице 1.1, но и шире.

В настоящее время основным материалом для полипропиленовых труб является рандом типа 3 — сополимер полипропилена из разряда термопластов, обозначения PPRC или ППП -3. Это наиболее плотный из всех пластмасс с плотностью 0.91т/м^3 . Данный материал термостоек (температура размягчения 140°C , температура плавления 175°C), стоек к коррозионному растрескиванию и истиранию, химически стоек и поддается только воздействиям хлорсульфоновой, азотной, серной кислоты, олеума, галогенов. Также он эластичен, благодаря чему при замерзании вода не разрывает трубы.

Все используемые в мире трубы делятся на две категории: металлические и неметаллические. Отличительной особенностью металлических является прочность, а неметаллических- долговечность. Основные преимущества использования пластмассовых трубопроводов: устойчивость к коррозии, простота в эксплуатации, гибкость и прочность, разнообразие методов соединения, превосходная гидравлика, низкая стоимость обслуживания в ходе жизненного цикла [128]. Кроме того, следует учесть, что экономический эффект от использования труб из полипропилена взамен стальных складывается из экономии затрат на транспортировку (1 : 9), сокращения трудоемкости и отходов при монтаже (1: 10), экономии расходных материалов, отсутствия расходов в период эксплуатации, а также значительного срока службы более 50 лет. Вследствие этого, приведенная стоимость трубопроводов из полипропилена на 30-40 % ниже стоимости трубопроводов, выполненных из стальных оцинкованных или чугунных труб [54].

Первые пластиковые трубы появились в 30-е гг. прошлого века. Эти трубы изготавливались из поливинилхлорида и были предназначены только для

малоэтажных зданий, т.к. диапазон их диаметров был слишком ограничен. Монтаж таких труб осуществлялся обычным склеиванием через фитинги. В настоящее время трубы из ПВХ не нашли широкого распространения т. к. со временем они начинают выделять токсины опасные для здоровья человека. К тому же ПВХ- горючий материал и при пожаре в процессе сгорания выделяет ядовитые токсины [48]. Трубы из полимерных материалов при сооружении технологических трубопроводов начали появляться во второй половине XX века [2,103,103]. Трубы из полипропилена начали производить в 1978-1979гг. в США и Италии и благодаря своим преимуществам сразу же нашли себе широкое применение. В дальнейшем полипропиленовую трубу усовершенствовали и адаптировали для использования в различных условиях.

Как отмечается в работе [2], текущая аварийность металлических труб превышает в 100 раз аварийность пластмассовых, а в благополучных скандинавских странах в 8...10 раз. Поэтому в Скандинавии в сетях водоснабжения доля протяженности труб из полимерных материалов составляла 87 %, а в канализационных коллекторах и системах водоотведения – 64 % еще в 1997 году. В Европе около 1,6 млрд.м труб для водоснабжения и отопления изготовлены из полиолефинов. Основнвя часть этих труб изготовлена из сшитого полиэтилена или полипропилена. Объем применения в строительстве труб из полипропилена сохраняется постоянным и в 2000 г. он составил около 60 млн.м. По оценке экспертов в ближайшие годы прогресс в технологии производства исходного сырья сделает годовой рост потребления полипропилена примерно на 9 % [94].

Наиболее крупными производителями пластмассовых труб в настоящее время являются ОАО “Казаньоргсинтез” (г. Казань, Республика Татарстан), НПО “Пластик” (г. Москва) и др.

Полипропиленовые трубы довольно широко применяются в различных отраслях. В строительстве полипропиленовые трубы используются практически

во всех узлах инженерных систем отопления, вентиляции, водоснабжения и канализации.

Основной перечень применения полипропиленовых труб:

- канализационные системы в промышленном строительстве;
- внутренние канализационные системы;
- системы отвода сточных и почвенных вод, а также для отведения сточных бытовых вод;
- транспортировка агрессивных сред или сжатого воздуха;
- системы внутреннего и наружного горячего и холодного водоснабжения;
- теплые полы, а также разводка системы центрального отопления (температура воды менее 90 °С).

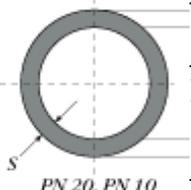
Трубы полипропиленовые для водоснабжения и отопления делятся на три категории:

- PN10 — тонкостенный вариант, для холодного водоснабжения (до +20°С) и тёплых полов (до +45°С), номинальное рабочее давление 1МПа (10,2 кг/см²);
- PN20 — универсальная труба, применяется для горячего водоснабжения (температура до 80°С), номинальное давление 2МПа (20,4кг/см²);
- PN25 — армированные алюминиевой фольгой, для горячего водоснабжения и центрального отопления (до +95°С), номинальное давление 2,5МПа (25,49кг/см²).

В данной работе будем рассматривать две первые категории PN 10 и PN 20 следующих размеров (таблица 1.2).

Таблица 1.2

Параметры полипропиленовых труб PN 10 и PN 20

	PN 10 Размер, мм SDR 11	D, мм	S, мм	d, мм
	20×1,9	20	1,9	16,2
	25×2,3	25	2,3	20,4
	32×3,0	32	3	26,0
	40×3,7	40	3,7	32,6
	50×4,6	50	4,6	40,8
	63×5,8	63	5,8	51,4
	75×6,9	75	6,9	61,2
	90×8,2	90	8,2	73,6
	110×10	110	10	90,0
	PN 20 Размер, мм SDR 6	D, мм	S, мм	d, мм
16×2,7	16	16	10,6	
20×3,4	20	3,4	13,2	
25×4,2	25	4,2	16,6	
32×5,4	32	5,4	21,2	
40×6,7	40	6,7	26,6	
50×8,4	50	8,4	33,2	
63×10,5	63	10,5	42,0	
75×12,5	75	12,5	50,0	
90×15,0	90	15	60,0	
110×18,4	110	18,4	73,2	

Таким образом, в настоящее время полипропиленовые трубы довольно широко применяются и использование их в строительстве в перспективе будет только расти. Однако, существенно сдерживают их использование температурные

ограничения. Согласно действующим нормативно-техническим документам контактная сварка полипропиленовых труб и деталей трубопровода должны проводиться при температуре окружающего воздуха не ниже 0 °С [113], это требование сильно ограничивает сроки проведения работ по монтажу трубопроводов.

1.2. Исследование физико-механических свойств материала полипропиленовых труб в зависимости от температуры

Аналитический обзор информационных источников показал, что в научной литературе приводятся физико-механические свойства полипропилена в основном при температуре 20°С и недостаточно данных об их изменении в зависимости от температуры окружающего воздуха или температуры эксплуатации. Для разработки технологии строительства систем водоснабжения при низких температурах необходимо исследование изменения свойств материала полипропиленовой трубы в зависимости от температуры.

Испытания на растяжение по ГОСТ 11262-80 образцов, вырубленных из стенок полипропиленовой трубы Ø63 PP-R 80, класс ХВ/PN10, ГОСТ Р 52134-2003, («ПОЛИТЭК») проводились на универсальной испытательной машине, оснащенной температурной камерой UTS-20К (Германия). Испытания проводились при разных температурах ОВ по пять образцов при каждой температуре при скорости движения захвата 50 мм/мин. Значения температур, при которых проводились испытания, выбирались равными допустимым согласно нормативным документам предельно низким значениям температур для транспортировки, погрузки, разгрузки и сварки, а также допустимым максимальным значениям температур эксплуатации полипропиленовых труб.

На рис. 1.1 приведена зависимость предела текучести при растяжении образцов полипропиленовых труб SDR 11, диаметром 63 мм от температуры. На рисунке 1.2 приведена зависимость относительного удлинения при разрыве от

температуры. С понижением температуры предел текучести полипропилена существенно повышается (рисунок 1.1), а относительное удлинение снижается (рисунок 1.2). Хрупкое разрушение образцов наблюдалось при температуре -20°C .

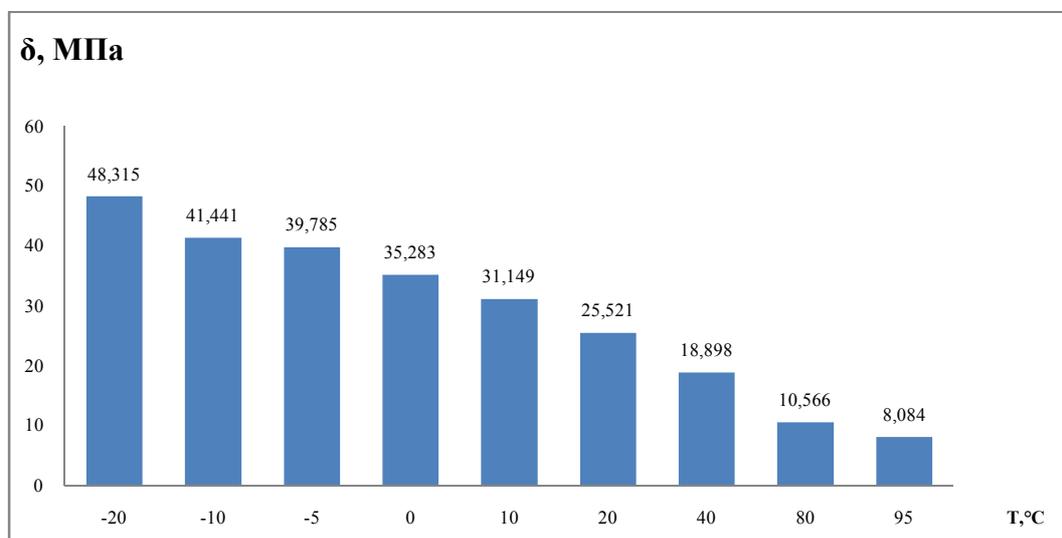


Рисунок 1.1 - Зависимость предела текучести при растяжении образцов полипропиленовых труб SDR 11, диаметром 63 мм от температуры

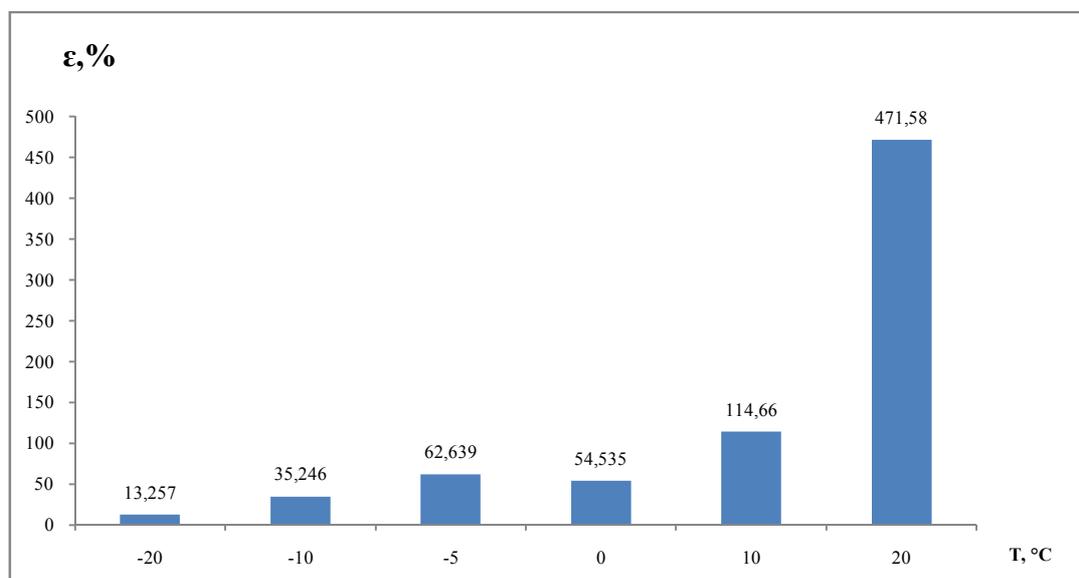


Рисунок 1.2 - Зависимость относительного удлинения при растяжении образцов полипропиленовых труб SDR 11, диаметром 63 мм от температуры

При понижении температуры окружающего воздуха от 20 до -20°C предел текучести полипропилена повышается от 25 до 48 МПа (почти в два раза), относительное удлинение понижается от 471 до 13 % (в 36 раз). Низкое значение предела текучести PPRC при 20°C по сравнению с пределом текучести

полипропилена низкого давления связано с содержанием в нашем сополимере этилена с низким пределом текучести (19 МПа). Результаты испытаний подтверждают, что при понижении температуры наиболее опасными являются небольшие деформации, к которым могут привести даже незначительные прогибы труб.

Испытания на определение ударной прочности по ASTM B 2444-99 проводились на отрезках труб Ø63 PP-R 80, класс XB/PN10, PN 20 и Ø110 PP-R 80, класс XB/PN10, PN 20, ГОСТ Р 52134-2003 (рисунок 1.3.)



а)



б)



в)

Рисунок 1.3 - Испытания на ударную прочность падающим грузом:

а) общий вид установки, б) испытания при 22°C, в) испытания при минус 15°C

Испытания показали что при температуре ОВ 22°C образцы выдерживали разрушающее усилие, соответствующее падению трубы длиной 4 метра

(стандартная длина выпускаемых труб) с высоты 4 метра, а при температуре минус 15°C образцы разрушались при усилии, соответствующем падению с высоты 1 метр.

1.3. Способы сварки полипропиленовых труб.

Основным видом соединения полипропиленовых труб является сварка. Несмотря на достаточно большое количество публикаций по исследованию изменения свойств полипропилена, взаимосвязи структуры и свойств и т.д., недостаточно работ, посвященных исследованию сварки полипропиленовых труб. Целью соединения полимерных труб и деталей между собой, осуществляемого при помощи сварки, является получение неразъемных соединений, равнопрочных (или близких по прочности) основному материалу. Образование сварного соединения основано на физических и химических процессах, протекающих в соединяемых изделиях. В результате этих процессов происходит взаимное слияние соединяемых поверхностей и образование промежуточного слоя с однородной или разнородной химической структурой.

Сварку, основанную на сближении макромолекул полимера для возникновения физического взаимодействия между ними, называют сваркой плавлением, тепловой сваркой, контактной тепловой сваркой, или диффузионно-реологической [69,126]. Для ее осуществления необходимо перевести материал в вязкотекучее состояние и обеспечить его течение. Чаще всего под термином «сварка» подразумевают процесс получения сварного соединения в результате плавления полимера. Сваркой плавлением соединяют многие термопласты, например: полиэтилен, полипропилен, полибутен, реже поливинилхлорид и другие.

Большой вклад в изучение сварочных процессов, формирования структуры и свойств сварных соединений полимеров внесли такие известные ученые как А.А. Адаменко, В.Е. Бухин, Б.Ф. Виндт, С.С. Волков, У.Ш.-М. Гисер, К.И. Зайцев, Г.К.

Кайгородов, В.Ю. Каргин, Е.А. Кашковская, В. И. Кимельблат, Г.В. Комаров, Г.Н. Кораб, А.С. Стручков и многие другие [11,12,13,14,15,16,17,22,69,56, 32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,58,60,61,62, 64,66,67,71, 72,73,85,123,124,125,126,129,131,132].

По мере появления новых полимерных материалов и развития технологий их синтеза, появлялись и новые способы сварки. Существуют различные виды сварки [7,16,49,67,69,70,131,]: сварка излучением, сварка пламенем, сварка нагретым газом, сварка литьем под давлением, экструзионная сварка, сварка нагретым инструментом, сварка закладными нагревателями, ультразвуковая сварка, сварка трением, высокочастотная сварка, магнитноимпульсная сварка, сварка с помощью растворителей, а также химическая сварка.

Полипропиленовые трубы в основном сваривают двумя способами:

- Сварка нагретым инструментом встык (\varnothing 63мм и выше)
- Сварка нагретым инструментом в раструб (\varnothing 16-125мм)

При сварке нагретым инструментом встык производят оплавление свариваемых поверхностей, далее их нагрев до вязкотекучего состояния. Затем нагретые поверхности соединяют и остывание происходит под давлением.

Основные параметры сварки нагретым инструментом встык:

- температура нагретого инструмента
- продолжительность нагрева
- давление торцов при оплавлении и нагреве
- продолжительность технологической паузы
- время нарастания давления осадки
- давление на торцы при осадке
- время охлаждения сваренного шва

Температура нагретого инструмента и продолжительность нагрева должны быть такими, чтобы свариваемый полимерный материал быстро перешел в вязкотекучее состояние. Однако слишком высокая температура нагревателя и/или

продолжительность нагрева могут привести к термоокислительной деструкции. Для полипропилена максимальная температура нагретого инструмента 260-270°C.

Давление при оплавлении должно быть достаточным для быстрого сглаживания неровностей свариваемых поверхностей, а давление при нагреве должно быть низким т.к. под его действием происходит вытекание полимера к краям сварного шва, что приводит к уменьшению глубины оплавления, неравномерности прогрева различных зон сварного соединения.

Технологическая пауза - это время необходимое на то, чтобы убрать нагретый инструмент и соединить свариваемые торцы труб. Наличие и продолжительность паузы приводит к переохлаждению торцов свариваемых труб.

Давление при осадке стыка после удаления нагревателя необходимо для реализации в зоне контакта макроскопического течения расплава полимера, приводящего к удалению из зоны сварки прослоек остывшей и окисленной пленки полимера, а также заземленной газовой прослойки и возникновению диффузионных процессов между макромолекулами полимера [15,50,53,77]. Материал, вытесненный из стыка под давлением осадки, образует наружный и внутренний сварочный грат [46]. При течении расплава (образовании грата) происходит переориентация макромолекул полимера, в результате которой они занимают параллельное расположение относительно друг друга. Это расположение наиболее благоприятно для процессов физического взаимодействия между ними. Таким образом, в результате сдвиговых деформаций исчезает существовавшая ранее граница раздела, обеспечивается полное взаимодействие между макромолекулами полимера и формируется по-новому ориентированная надмолекулярная структура. Во время осадки свариваемые поверхности соединяются между собой под давлением. Например, величина давления при осадке для ПЭ принята равной $P_{oc}=0,15+0,05$ МПа. В это время в стыке происходит процесс образования надмолекулярной структуры. По мере охлаждения расплава параллельно ориентированные сегменты макромолекулярных цепей объединяются в ассоциации, образуя кристаллические

области. Оставшаяся часть макромолекул входит в состав аморфной фазы. Соотношение кристаллической и аморфной фаз (степень кристалличности), а также размеры надмолекулярных образований зависят от режима охлаждения и определяют пластичность полимерных труб. Если скорость охлаждения высокая, то центров кристаллизации образуется много и их рост происходит медленно, при этом образуется мелкокристаллическая структура, обуславливающая пластичность полимера. Также быстрое охлаждение приводит к значительным перепадам температур в зоне сварного шва, что приводит к большим напряжениям в материале. Внутренние напряжения снижают прочность шва и могут привести к образованию раковин. При медленном охлаждении расплава формируется крупнокристаллическая структура материала, наличие которой увеличивает склонность полимера к хрупкому разрушению [56]. Таким образом, следует выбирать такие условия осадки, которые обеспечат оптимальное структурообразование в зоне сварного соединения.

При сварке нагретым инструментом в раструб оплавляются наружная поверхность конца трубы и внутренняя поверхность соединительной муфты (фитинга, тройника, заглушки, крана и т.д.) (рисунок 1.4). Далее извлекается нагретый инструмент и соединяются свариваемые поверхности трубы и фитинга. Оплавление при сварке нагретым инструментом в раструб, также как и при стыковой, происходит путем прямого контакта нагретого инструмента и свариваемой поверхности. При сварке в раструб применяется особая форма нагретого инструмента, если при сварке встык инструмент имеет форму нагретой пластины и оплавляется торцевая поверхность трубы, то при сварке в раструб он представляет собой дорн для оплавления внутренней поверхности муфты и гильзу для оплавления наружной поверхности конца трубы.

Также как и при стыковой сварке тут необходимо нагреть материал до вязкотекучего состояния, но не допустить термоокислительной деструкции; это зависит, как и при сварке нагретым инструментом встык, от температуры нагретого инструмента (260-270 °С) и продолжительности нагрева (зависит от

диаметров трубы и муфты). Давление между нагреваемой поверхностью и нагретым инструментом создается за счет температурного расширения свариваемого материала.

Далее следует этап, при котором убирается нагретый инструмент и соединяются свариваемые детали. Время затраченное на эти манипуляции, как и при сварке нагретым инструментом встык, называется технологической паузой. Продолжительная пауза приводит к переохлаждению свариваемых поверхностей, что в свою очередь отрицательно влияет на качество сварного соединения.

Затем происходит осадка сварного соединения. Давление между свариваемыми поверхностями образуется, как и на этапе оплавления, за счет температурного расширения материала.

Анализ физических и химических процессов, протекающих при сварке, показал, что при формировании надмолекулярной структуры, обеспечивающей необходимую прочность сварного соединения, определяющую роль играет тепловой процесс. Получение некоторого температурного поля в конце этапа нагрева и охлаждение сварного соединения с определенным темпом должно обеспечить необходимую прочность сварного соединения при температурах окружающего воздуха ниже нормативных. Наиболее эффективным методом решения таких задач регулирования тепловым процессом является метод математического моделирования с привлечением численных методов решения дифференциальных уравнений и современных вычислительных машин.

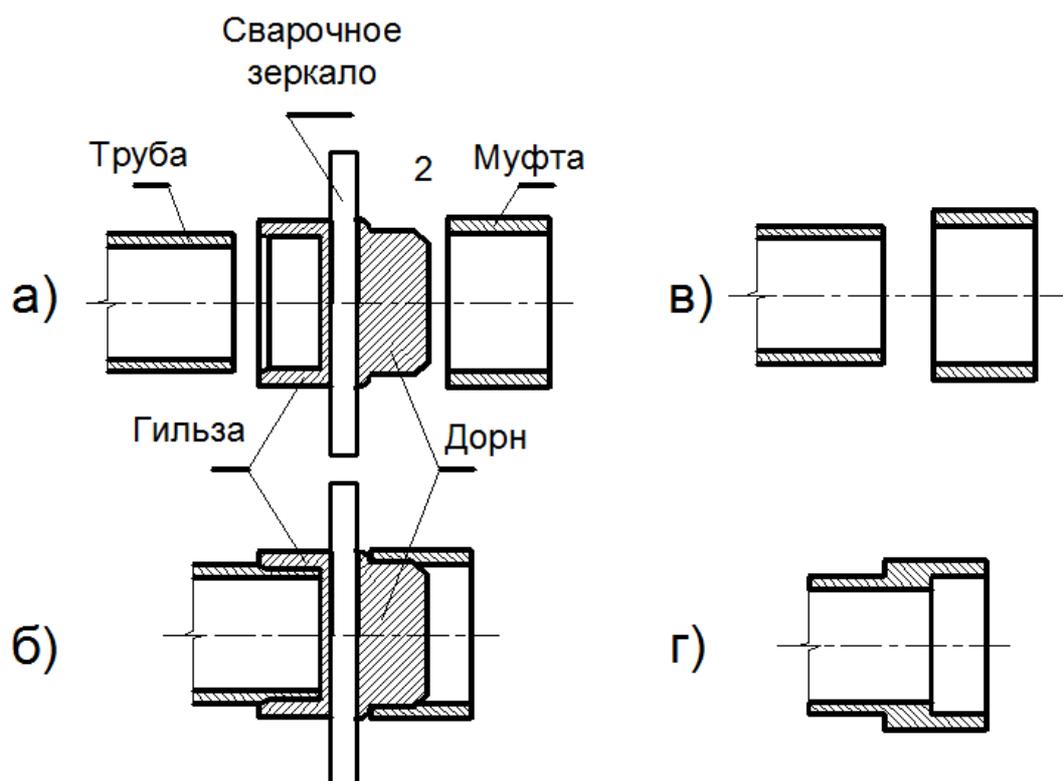


Рисунок 1. 4 - Этапы проведения сварки нагретым инструментом в раструб полимерных труб: а) Нагрев инструмента и подготовка свариваемых трубы и муфты; б) Оплавление гильзой трубы и муфты дорном; в) Технологическая пауза; г) Сварное раструбное соединение

В большинстве научных работ, посвященных исследованию теплового процесса сварки полимерных труб, используют одномерную модель Стефана [42,27], которая недостаточно адекватно описывает теплообмен сварного соединения с окружающей средой. Результат регулирования во многом зависит от адекватности модели реальному тепловому процессу. Моделированию теплового процесса при сварке полимерных труб с использованием двумерных математических моделей посвящены, например, работы [21,78,79,65]. Тем не менее, сопоставлению теоретических и экспериментальных данных уделяется недостаточное внимание. Теоретическое моделирование и экспериментальные исследования показывают, что для адекватного описания теплового процесса сварки полиэтиленовых труб необходимо учитывать фазовый переход в интервале температур [118].

По мере развития производства труб из полимерных материалов началась работа по созданию нормативных документов и созданию отечественной сварочной техники [47]. Так, в начале 1960-х годов было разрешено применение неметаллических труб для газопроводов в СНиП III Г.7-63 “Газоснабжение. Наружные сети и сооружения. Правила организации и производства работ. Приемка в эксплуатацию”. Тогда под неметаллическими назывались только винипластовые и асбестоцементные трубы. Затем, уже в 1980 г. появился нормативный документ СН 478-80 “Инструкция по проектированию и монтажу сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб”. В данном нормативном документе установлены температурные ограничения по температуре окружающего воздуха при сварке: “Контактную сварку труб следует проводить при температуре окружающего воздуха не ниже: минус 10 °С – для ПНП и ПВХ; 0 °С – для ПП. При более низких температурах сварку надлежит осуществлять в утепленных укрытиях” [110], однако такая сварка связана с большими энергетическими непроизводительными затратами и длительными подготовительными работами, что недопустимо в аварийных ситуациях. СН 478-80 впоследствии был заменен. В настоящее время строительные-монтажные и сварочные работы полипропиленовых труб регламентируются требованиями целого ряда нормативных документов [113,114,20,18]. Указанные выше ограничения по температуре окружающего воздуха при сварке не отменялись. Как указано в работе [109] в Европе климат позволяет в редкие зимние дни при пониженных температурах воздуха остановить строительные работы, но мы в России не можем себе позволить половину года не работать (в большинстве наших регионов зима длится более 5 месяцев, а 65 % территории и вовсе находится в условиях многолетнемерзлых грунтов), поэтому расширение допустимого интервала температур при сварке полипропиленовых труб в сторону низких без строительства временных укрытий является актуальной задачей.

Были проведены патентные исследования по сварке полимерных материалов.

Существует способ сварки полимерных труб при высоких температурах окружающего воздуха из регламентированного интервала температуры производства сварочных работ. Способ заключается в том, что во время выдержки под давлением осаживания внутреннюю полость сваренной трубы продувают наружным атмосферным воздухом, что обеспечивает одинаковую скорость охлаждения сварного шва во внутренней поверхности полимерной трубы по всему периметру [89] .

В работах [88,93] представлены способы сварки полимерных труб закладным нагревательным элементом и нагретым инструментом встык при низких температурах окружающего воздуха. Суть способов заключается в предварительном прогреве зоны сварки и остывании сварного шва под слоем теплоизоляции.

В работе [90] предложен способ сварки полимерных труб нагретым инструментом встык при низких температурах окружающего воздуха, заключающийся в увеличении времени оплавления в зависимости от температуры ОВ.

Способ соединения многослойных полимерных труб сваркой нагретым инструментом в раструб описан в работе [86]. Способ заключается в том что оплавляется как наружная, так и внутренняя поверхность трубы, а фитинг имеет кольцевое гнездо, в котором оплавляются две поверхности. В результате сварка происходит и по наружной и по внутренней поверхностям трубы.

В работе [80] представлены насадки на сварочный аппарат для ремонта полимерных труб, одна из которых представляет собой клин под определенным углом, другая представляет собой клиновидную выемку под таким же углом, что и клин другой части насадки, причем и клин и выемка выполнены в виде равнобедренной трапеции под одинаковыми углами. Технический результат, получаемый при использовании насадок, заключается в упрощении ремонта полимерной трубы, зарытой в землю, за счет сварки локального повреждения клиновидной насадкой с помощью аппарата для раструбной сварки.

Еще один способ и устройства для сварки многослойных полимерных труб нагретым инструментом в раструб с нагревом наружной, внутренней и торцевой поверхностей трубы и фитингом, имеющем кольцевое гнездо описаны [84,92,94]. Конец трубы нагревается до температуры размягчения, а фитинг - до температуры плавления материала. При соединении трубы и фитинга поверхности внутреннего и внешнего слоев конечного участка трубы в процессе теплообмена с нагретой до более высокой температуры поверхностью посадочного гнезда фитинга разогреваются до температуры плавления материала внутреннего и внешнего слоев трубы, обеспечивая тем самым, получение качественного соединения.

На основе анализа отобранных материалов по рассматриваемой теме можно сделать следующее заключение: по заданному регламенту патентного поиска по монтажу полипропиленовых труб при температурах ниже регламентированных патентов не найдено, что, видимо, объясняется относительно высокой температурой охрупчивания полипропилена (минус 5-15) °С. В связи с этим, предстоит разработка совершенно новых способов монтажа пропиленовых труб при низких значениях температуры окружающего воздуха.

В работах [6,31,121,] описаны способы сварки нагретым инструментом встык полиэтиленовых труб при температурах ОВ ниже нормативных без использования временных отапливаемых укрытий. Сварку нагретым инструментом встык полиэтиленовых труб предлагается производить с предварительным подогревом концов свариваемых труб, а охлаждение сварного соединения - под слоем теплоизоляции [121]. Этот способ вполне применим и для сварки встык полипропиленовых труб. Поскольку наиболее широко распространен в случае полипропиленовых труб способ сварки нагретым инструментом в раструб, то необходима разработка способа раструбной сварки при отрицательных температурах ОВ.

1.4. Методы контроля качества сварных раструбных соединений

Строительство ПП трубопроводов предъявляет повышенные требования к качеству получаемых сварных соединений, эксплуатационная надежность которых должна быть сопоставима с надежностью самих труб. Основным нормативным документом, регламентирующим условия обеспечения требуемого уровня качества сварочных работ, является СП 40-102-2000 [114]. Для того, чтобы оценить эффективность разработанных технологий сварки полимерных труб, проводятся различные методы испытаний сварных соединений [136,137,134,133,135,19,111].

Методы контроля, используемые для оценки качества сварных соединений, в зависимости от своего воздействия на материал сварного соединения, подразделяются на разрушающие и неразрушающие.

К неразрушающим испытаниям сварных соединений относятся методы оценки внешнего вида, дефектоскопии, гидравлическое испытание напорных трубопроводов и ультразвуковой контроль.

Ультразвуковой контроль (УЗК) основывается на способности ультразвука 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. Методика УЗК обеспечивает выявление дефектов площадью более 1,5 мм². Однако, известно, что данная методика в мировой практике контроля сварки является неэффективной [63].

При гидравлическом испытании в готовый трубопровод подается испытательное давление (больше чем рабочее давление) и выдерживается в течение определенного времени. Трубопровод считается выдержавшим предварительное гидравлическое испытание, если под испытательным давлением не обнаружено разрывов труб или стыков и соединительных деталей.

К разрушающим методам контроля относятся испытания на стойкость при постоянном внутреннем давлении, испытания на статический отдр, испытания на сдвиг сжатием.

При испытании на стойкость при постоянном внутреннем давлении раструбное соединение выдерживают определенное время под избыточным гидравлическим давлением. Качество сварного соединения определяется отсутствием разрывов стыков или соединительных деталей.

Испытания на статистический отдр выполняются изгибом свободной части образца сварного соединения в виде полоски, заземленного на половину длины сварного шва. При удовлетворительном качестве соединений разрушение должно происходить по основному материалу трубы или частично по шву и частично по основному материалу.

Испытания на сдвиг сжатием производят на кольцевых образцах, вырезаемых из раструбного соединения трубы с соединительной деталью. Качество сварного раструбного соединения считается удовлетворительным, если при испытании кольцевых образцов на сдвиг разрушающее напряжение для ПНД (полиэтилена низкого давления) составило не менее 15 МПа и 16 МПа для ПП (полипропилена).

Также как по способам сварки был проведен патентный поиск по методам контроля качества сварных соединений полимерных труб:

В работе [82] описан образец для испытания на растяжение, который по средней линии грата имеет сквозное отверстие радиусом, равным отношению произведения ширины образца на высоту грата к сумме двойной высоты грата и толщины образца.

Способ испытания муфтового сварного соединения полимерных труб, в котором испытываются образцы муфтовых сварных соединений с дефектами, нанесенными перед сваркой, представлен в работе [95]. Площадь дефектов составляет половину сваренной площади, что позволяет определить прочность муфтового сварного соединения по зоне сварки в количественном отношении.

В работе [96] представлен способ испытания на отдрив сварочного соединения полимерной трубы с электромuftой, отличающийся тем, что на боковых сторонах образца в зоне расплава делают паз глубиной 1-5 мм, шириной и длиной, равными ширине и длине зоны расплава, что приводит к увеличению точности измерения прочности сваренного соединения. В работе [97] - способ испытания прочности сварного стыкового соединения полимерных труб, заключающийся в испытании образцов-лопаток указанного сварного соединения с предварительно нанесенными перед сваркой дефектами, благодаря которым площадь сварки не больше или равна сечению рабочей части основного материала образца-лопатки.

Еще один способ испытания сварного стыкового соединения полимерных труб представлен в [91], в которой в качестве образцов сварного стыкового соединения полимерных труб используют образцы-ленты, изготовленные торцевателем из определенной зоны сварного соединения так, чтобы образцы-ленты представляли собой однородный состав соответствующей зоны.

В [87] описана установка для определения стойкости полимерных труб к распространению трещин. Установка позволяет смоделировать экстремальные условия эксплуатации полимерных труб и определить критическое напряжение распространения трещин в трубопроводах из различных типов полимерных материалов.

В работе [81] представлена установка для испытания на длительную прочность однонаправленных полимерных композиционных материалов в которой образец испытываемого материала одинаковой длины и толщины пропускают внутри трубы и помещают в захваты и нагружают В зависимости от массы груза время проведения эксперимента будет различным и фиксироваться устройством для измерения времени. Торцы трубы герметизируют и теплоизолируют. Нагружают образец. На блоке автоматического поддержания температуры выставляют необходимые интервалы поддержания температуры. Подают напряжение на нагревательный элемент, закрепленный внутри трубы. Параллельно с образцом устанавливается датчик

перемещений. При достижении предела длительной прочности образца однонаправленного полимерного композиционного материала происходит его разрушение. По полученным результатам сравнивают пределы длительной прочности образца без и с учетом влияния температуры при нагружении.

А в работе [83] представлена установка для испытания на длительную прочность однонаправленных полимерных композиционных материалов с учётом влияния влажности среды, в которой образец испытуемого материала из однонаправленного полимерного композиционного материала пропускают в резервуаре с водой внутри трубы, торцы трубы герметизируют и теплоизолируют. Нагружают образец. Подают напряжение на нагревательный элемент, закрепленный внутри трубы. Параллельно с образцом устанавливается датчик перемещений. К резервуару подключают датчик влажности и на блоке выставляют необходимые интервалы поддержания влажности среды. По полученным результатам сравнивают пределы длительной прочности образца, как без влияния температуры и влажности среды, так и с их учетом при нагружении.

Анализ патентной литературы и нормативной документации показал отсутствие способа количественной оценки прочности отдельных зон раструбного сварного соединения полимерных труб, без которой оценка прочности раструбной сварки, произведенной при низких температурах, будет недостаточно информативной.

Итак, существующие методики испытаний сварных соединений являются малоинформативными, а в некоторых случаях объективной информации практически не дают. В виду вышесказанного необходимо разработать новые методы испытаний для количественной оценки качества сварных соединений в раструб полипропиленовых труб.

Выводы к главе 1

1. Аналитический обзор информационных источников показал, что в научной литературе приводятся физико-механические свойства полипропилена в основном при температуре 20 °С и недостаточно данных об их изменении в зависимости от температуры окружающего воздуха или температуры эксплуатации.

2. Для обоснования разработки технологии строительства систем водоснабжения при низких температурах проведены исследования изменения физико-механических свойств материала полипропиленовой трубы в зависимости от температуры. Установлено существенное снижение относительного удлинения при растяжении и ударной прочности материала полипропиленовой трубы с понижением температуры.

3. На основе анализа отобранных материалов по рассматриваемой теме можно сделать вывод в отсутствие надежного способа монтажа полипропиленовых труб при температурах ниже регламентированных.

4. Анализ существующих методов контроля качества сварных раструбных соединений и патентной документации показал отсутствие способа количественной оценки прочности сварных соединения полимерных труб.

Глава 2. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СВАРКИ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ В РАСТРУБ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОВ

4.1. Исследование процесса сварки полипропиленовых труб нагретым инструментом в раструб при различных температурах окружающего воздуха

Были проведены эксперименты по сварке нагретым инструментом в раструб полипропиленовых труб SDR 11 (PN 10) диаметром 63 по стандартному режиму при различных температурах ОВ с регистрацией температур в 12 точках муфты и трубы, приведенных на рисунке 2.1.

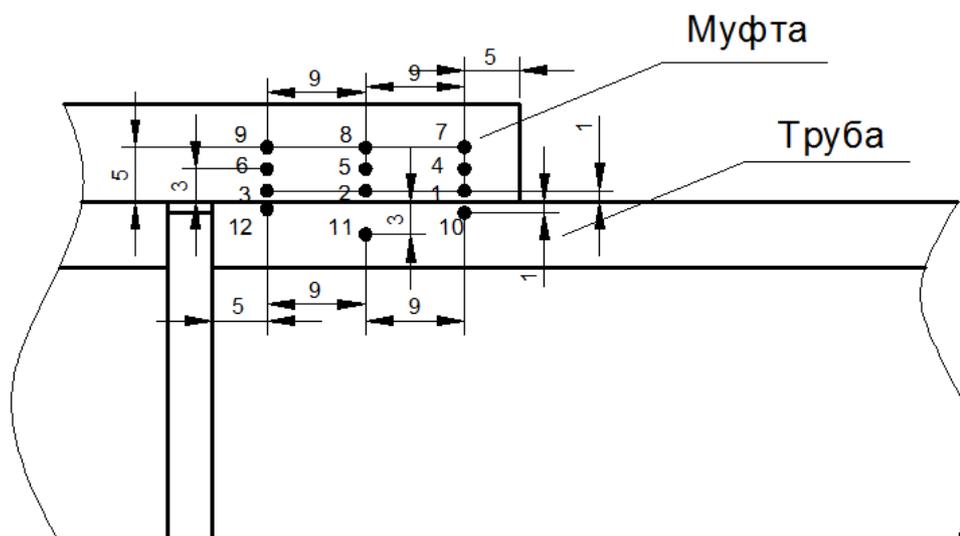
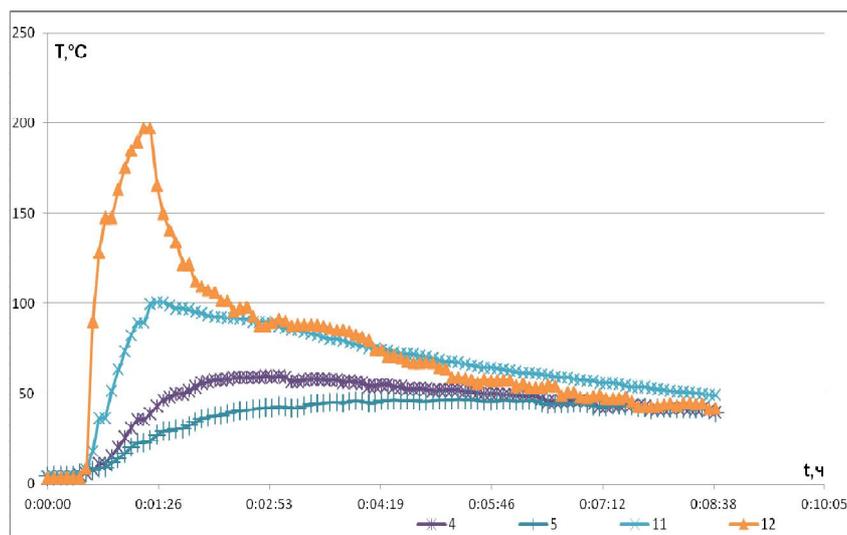


Рисунок 2.1 - Схема расположения термопар при сварке полипропиленовых труб нагретым инструментом в раструб при различных температурах ОВ

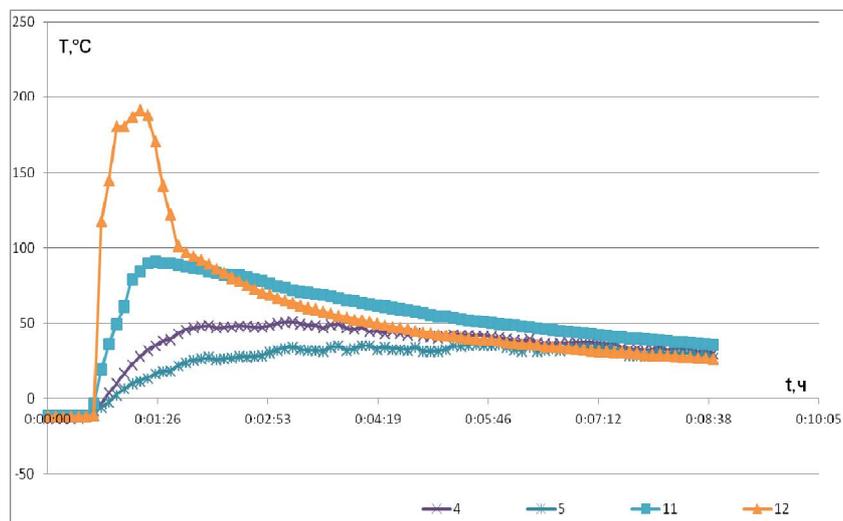
На рисунке 2.2 приводятся результаты замеров температур при сварке при допустимой (1,5 °С) и не допустимой (минус 16 °С) температурах ОВ в различных точках соединения.

Анализ динамики температур при сварке показывает, что при отрицательных (не допустимых) температурах ОВ при нагреве температуры незначительно ниже, чем при допустимых температурах ОВ. В то же время, существенно изменяется темп охлаждения. Например, если при температуре ОВ 1,5°С в точке 12

температура снижается до 50 °С за 400 с, то при температуре ОВ минус 16 °С – за 250 с. В связи с этим, при сварке в условиях низких температур необходимо управлять темпом охлаждения, чтобы сформировать в зоне сплавления структуру полипропилена, обеспечивающую необходимую прочность соединения. Для этого достаточно покрыть соединение слоем теплоизоляционного материала толщиной, обеспечивающей протекание охлаждения при низких температурах ОВ по закономерностям охлаждения при допустимых температурах.



а)



б)

Рисунок 2.2 - Изменение во времени температур в точках замера 4, 5, 11, 12 при сварке ПП труб SDR 11 (PN 10) Ø63 при различных температурах ОВ: а) 1,5°С; б) минус 16 °С

2.2. Моделирование теплового процесса оплавления, технологической паузы и остывания

Поскольку экспериментальное определение параметров сварки в широком интервале отрицательных температур для различных типоразмеров и сортаментов ПП труб представляет достаточно сложную и трудоемкую задачу, предлагается для их определения использовать математические модели теплового процесса сварки.

Для качественной сварки ПП труб в условиях низких температур необходимо, чтобы распределение температуры на поверхности сменных насадок, соприкасающихся с поверхностью трубы при оплавлении, была близкой к однородной. Поскольку сменные насадки нагреваются с основания, то, возможно, с понижением температуры окружающего воздуха температура насадки на концах со свободной конвекцией будет также понижаться, а также понижаться максимальная температура на поверхности насадки.

На рисунке 2.3 представлена термограмма дорна на нагревательной пластине при температуре окружающего воздуха 15, минус 10 и минус 42 °С. Из термограмм видно, что при температуре ОВ 15 °С разница температур на поверхности дорна составляет 12 градусов, которая сохраняется при температуре ОВ минус 10 °С и минус 42°С. Это обусловлено высокой теплопроводностью материала дорна. При понижении температуры ОВ от 15 до минус 10°С максимальное значение температуры дорна уменьшается на 5 °С. При понижении температуры ОВ от минус 10 до минус 42 °С температура дорна понижается на 3°С.

При низких температурах окружающего воздуха нет необходимости разогревать сменные насадки для сварки под теплоизоляционным теплостойким материалом, как следовало бы ожидать. Достаточно на каждые 5 градусов снижения температуры ОВ от комнатной повышать температуру нагревательной пластины на 1 градус. Терморегуляторы не всех нагревательных пластин позволяют устанавливать температуру с такой точностью. Поэтому предлагается

повышать температуру нагревательной пластины следующим образом. При сварке полипропиленовых труб при температурах ОВ в диапазоне от 0 до минус 10°C повышать температуру нагревательной пластины на 5 градусов, в диапазоне от минус 10 до минус 50°C – на 10 °C от рекомендуемых нормативными документами при допустимых температурах ОВ.

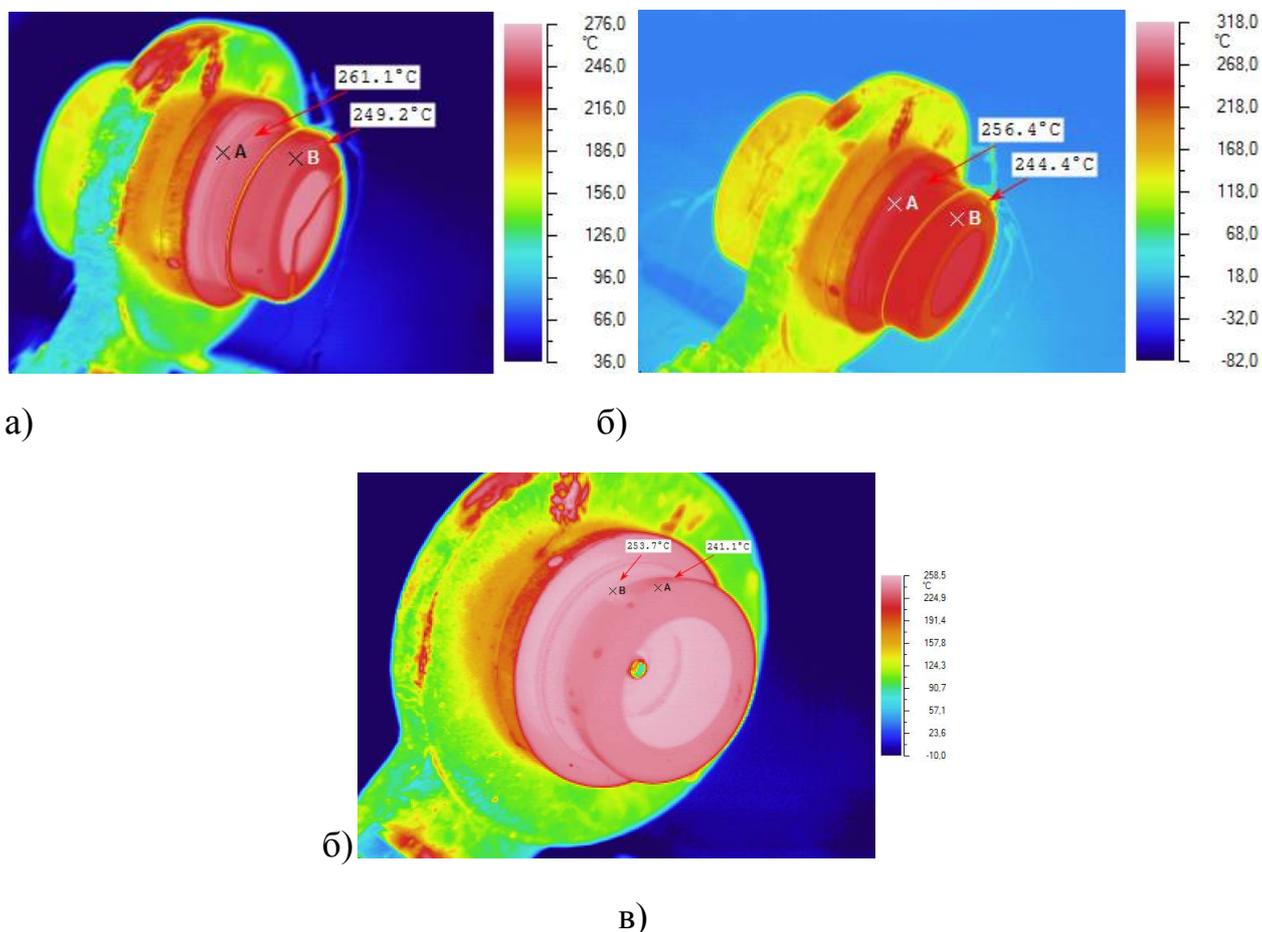


Рисунок 2.3 - Термограмма дорна на нагревательной пластине после 10 минут разогрева: а) температура ОВ 15°C; б) температура ОВ минус 10°C; в) температура ОВ минус 42°C

Результаты исследования распределения температур в насадках с помощью тепловизора при низких температурах позволили упростить моделирование теплового процесса воздействия насадками на свариваемую трубу и муфту.

На рисунке 2.4 - приведена схема для расчета температурного поля для трех режимов сварки – нагрева (оплавления) трубы и муфты, технологической паузы и охлаждения. При оплавлении и технологической паузе расчет ведется для муфты

и трубы в отдельности. При охлаждении считается, что труба и муфта контактируют по свариваемым поверхностям.

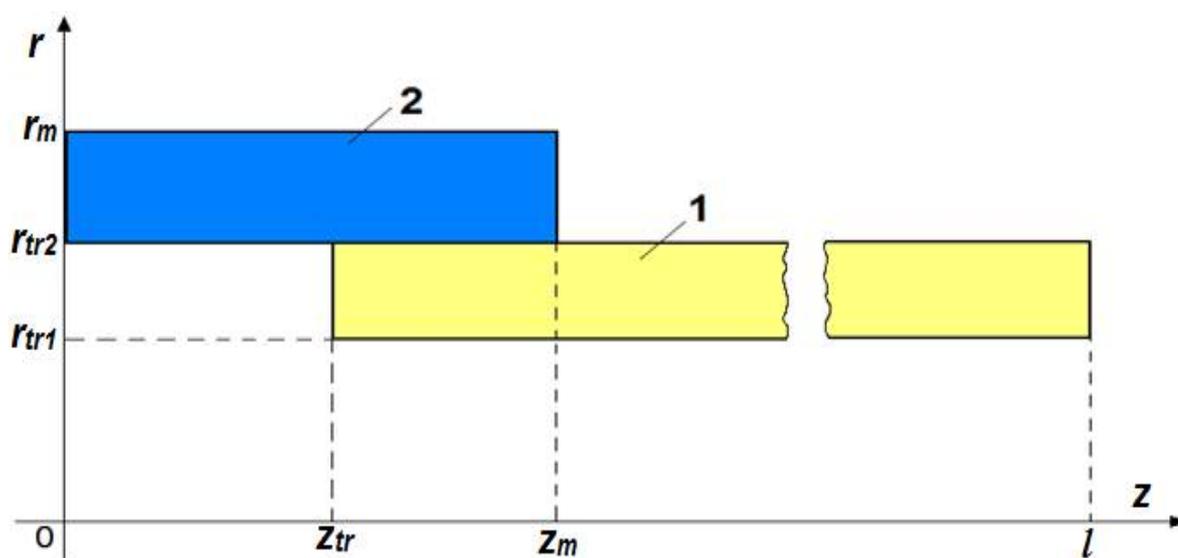


Рисунок 2.4 - Расчетная схема оплавления полипропиленовых труб: 1 – стенка трубы, 2 – стенка муфты

Распределение температуры при раструбной сварке полипропиленовых труб можно описать уравнением теплопроводности с учетом двухфазной зоны [1]:

$$\left(c(T) - \rho^- L^{100\%} \frac{dX_c}{dT} \right) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad r, z \in \Omega, \quad 0 < t \leq t_m, \quad (2.1)$$

где L – удельная теплота фазового перехода; Ω – пространственная область; коэффициенты уравнения выражаются следующими соотношениями:

$$c(T) = \rho^+ c^+ + X_c(T) \cdot (\rho^- c^- - \rho^+ c^+), \quad \lambda(T) = \lambda^+ + X_c(T) \cdot (\lambda^- - \lambda^+),$$

c^-, ρ^-, λ^- и c^+, ρ^+, λ^+ – удельная теплоемкость, плотность и теплопроводность для твердой и жидкой фазы материала трубы соответственно, T – температура; X_c – степень кристалличности; $L^{100\%}$ – удельная теплота фазового превращения полностью кристаллического полимера.

В полимерных материалах не существует четко выраженной границы раздела фаз – фазовый переход происходит в интервале температур $[T_s < T_\phi < T_L]$. Для адекватного описания теплового процесса в математической модели

необходимо учитывать промежуточную фазу между твердым и жидким веществом, в которой вещество находится как в твердом, так и в жидком состоянии. Степень кристалличности полиэтилена определяется по формуле:

$$X_c(T) = \begin{cases} X_c^\infty, & T \leq T_s, \\ X_c^\infty - \frac{\int_{T_s}^T q(u) du}{L^{100\%} v_T}, & T_s < T < T_L, \\ 0, & T \geq T_L, \end{cases} \quad (2.2)$$

где $q(T)$ – зависимость теплового потока от температуры, отнесенная к единице массы вещества, регистрируемая дифференциальным сканирующим калориметром (ДСК); T_s , T_L – температуры солидуса и ликвидуса; X_c^∞ – максимальная степень кристалличности исследуемого полимерного материала; v_T – скорость изменения температуры.

Дифференцируя в функции (2.2) интеграл по переменному верхнему пределу, получим

$$L^{100\%} \frac{dX_c}{dT} = \begin{cases} 0, & T \leq T_s, \\ -\frac{q(T)}{v_T}, & T_s < T < T_L, \\ 0, & T \geq T_L. \end{cases}$$

Таким образом, зависимость эффективного коэффициента теплоёмкости от температуры, учитывающая теплоту фазового превращения полимерного материала, определяется по данным ДСК.

Распределение температуры в трубе и муфте в начальный момент времени известно:

$$T(r, z, 0) = T_0(r, z), \quad (2.3)$$

$T_0(r, z)$ – температура после предварительного подогрева и выравнивания.

В режиме нагрева на оплавливаемых поверхностях и торцах трубы и муфты и

задаются условия первого рода с температурой $T_{ce}(z)$:

$$T(r_{tr}, z, t) = T_{ce}(z), \quad z_{tr} < z < z_m, \quad T(r, z_{tr}, t) = T_{ce}(z_{tr}), \quad T(r, z_m, t) = T_{ce}(z_m). \quad (2.4)$$

В режиме технологической паузы – условие конвективного теплообмена:

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Gamma_1} = -\alpha (T|_{\Gamma_1} - T_{окр}), \quad z_{tr} < z < z_m. \quad (2.5)$$

Γ_1 – свободная поверхность, на которой происходит конвективный теплообмен.

В режиме охлаждения в зоне контакта внешней стенки трубы и внутренней поверхности муфты задается условие идеального теплового контакта:

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_2-0} = \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_2+0}, \quad z_{tr} < z < z_m,$$

$$T(r_2 - 0, z, t) = T(r_2 + 0, z, t), \quad z_{tr} < z < z_m. \quad (2.6)$$

Учитывая низкую теплопроводность полиэтилена, можно принять, что на некотором удалении от зоны сварки температура трубы не изменяется на протяжении всего времени протекания процесса. Таким образом, на торце трубы задается условие:

$$T(r, l, t) = T_{окр}, \quad (2.7)$$

на торце муфты:

$$T(r, 0, t) = T_{окр} \quad (2.8)$$

На внутренней поверхности трубы при нагреве, паузе и охлаждении задается условие идеального теплового контакта с воздухом:

$$\lambda_3 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_1-0} = \lambda_{1,2} \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_1+0}, \quad T(r_1 - 0, z, t) = T(r_1 + 0, z, t), \quad (2.9)$$

при $r = 0$ условие ограниченности решения:

$$\lim_{r \rightarrow 0} \lambda r \frac{\partial T}{\partial r} = 0. \quad (2.10)$$

При всех режимах на не контактирующей внутренней поверхности муфты задается условие конвективного теплообмена:

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_2} = \alpha (T|_{r=r_2} - T_{\text{окр}}), \quad 0 < z < z_{tr}. \quad (2.11)$$

В режиме охлаждения в зоне контакта внутренней поверхности муфты и внешней поверхности трубы задается условие идеального теплового контакта:

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_2-0} = \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=r_2+0}, \quad T(r, r_2 - 0, t) = T(r, r_2 + 0, t). \quad (2.12)$$

На внешних не контактирующих поверхностях трубы и муфты G происходит конвективный теплообмен с окружающим воздухом:

$$\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_G = -\alpha (T|_G - T_{\text{окр}}). \quad (2.13)$$

Представляемые расчетная схема, расположение трубы и муфты и математическая модель позволяют строить одну расчетную сетку, пригодную для расчета температурных полей в трубе и муфте в отдельности при нагреве и технологической паузе и для их охлаждения при приведении в контакт (сварке). Такой подход позволяет не пересчитывать температуры при приведении в контакт из-за изменения координат в пространстве и несоответствия нумераций узлов сетки. Расчет ведется для одной и той же расчетной сетки, в которой изменяются лишь граничные условия в зависимости от режима сварки – нагрева, технологической паузы и охлаждения. Основой предлагаемого подхода расчета послужили предварительные исследования температурных полей с помощью тепловизора.

Сопоставлением расчетных и экспериментальных временных зависимостей температур в процессе сварки установлено соответствие модели реальному тепловому процессу при сварке. На рисунке 2.5 представлены расчетные и экспериментальные временные зависимости температур в сварном шве в середине раструба на стадии охлаждения, подтверждающие их удовлетворительное совпадение.

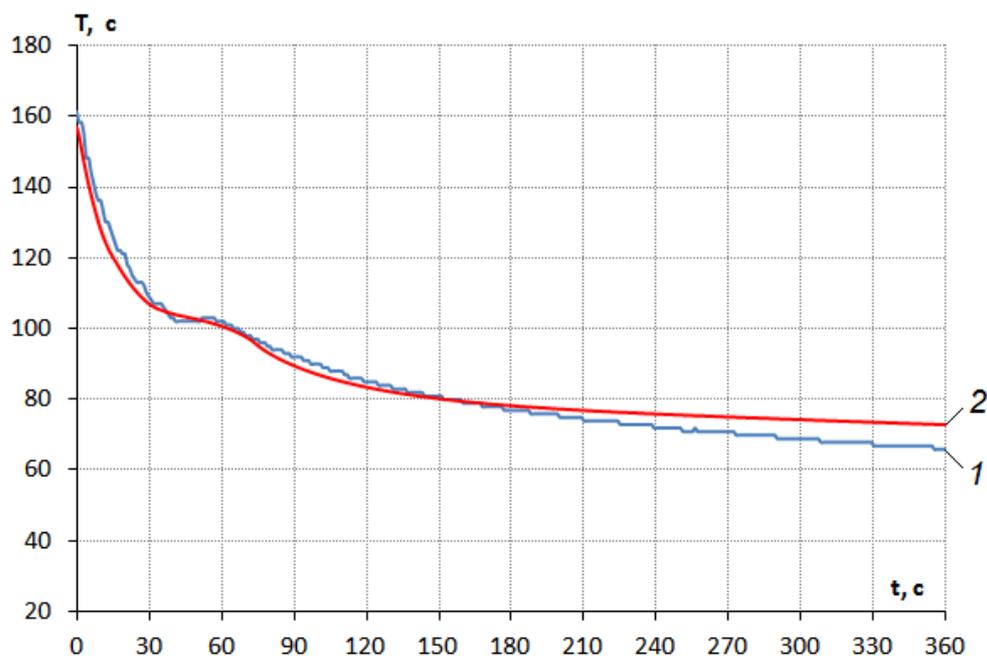


Рисунок 2.5 - Сопоставление экспериментальных (кривая 1) и расчетных (кривая 2) температурных данных при охлаждении сварного раструбного соединения из ПП труб 63 SDR 11 в сварном шве в середине раструба при температуре ОВ +23 °С

На рисунке 2.6 представлено распределение расчетных температур в стенках трубы диаметром 63 и муфты по радиусу при температуре ОВ 20 и минус 40 °С на удалении 1,5 см от торца в момент завершения нагрева (24 с). Из графика видно, что разница температур при различных температурах ОВ увеличивается по мере удаления от источника теплоты.

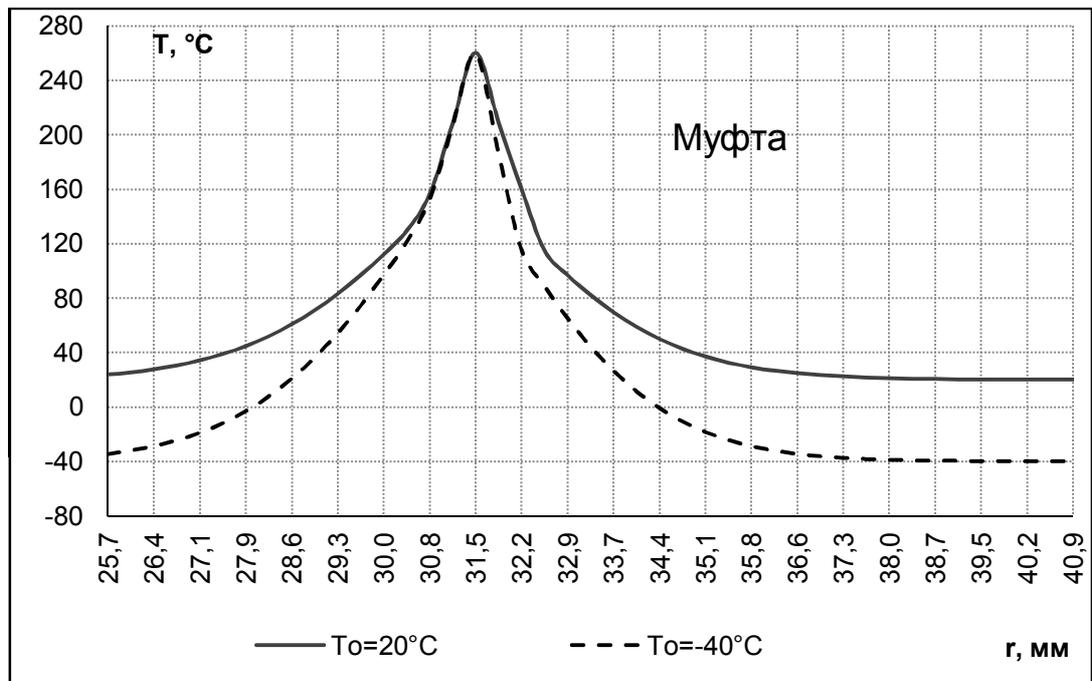


Рисунок 2.6 - Распределение температуры в стенках трубы $\varnothing 63$ и муфты по радиусу при температуре ОВ 20 и минус 40 °C на удалении 1,5 см от торца в момент завершения нагрева (24 с)

Далее рассмотрим расчетные распределения температур в стенках трубы и муфты по радиусу при температуре ОВ 20 и минус 40 °C на удалении 1,5 см от торца в момент завершения технологической паузы (32с) (рисунок 2.7) и при остывании сварного соединения через 1 мин. и через 6 мин (рисунок 2.8).

Как видно из графиков температура окружающего воздуха оказывает существенное влияние на динамику температурного поля в период охлаждения, а именно на скорости остывания сварного соединения.

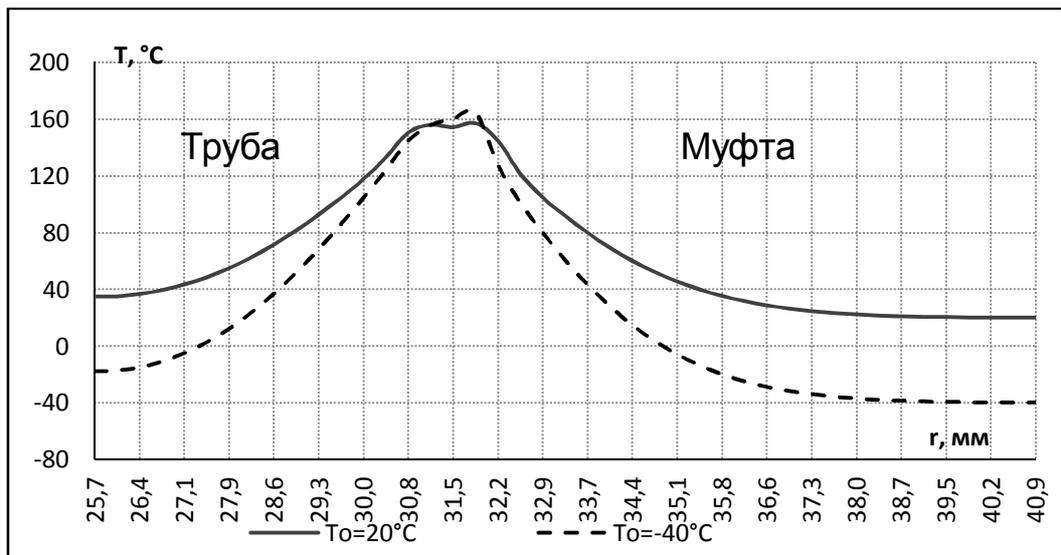


Рисунок - 2.7 Распределение температуры в стенке трубы и муфты по радиусу при температуре ОВ 20 и -40 °С на удалении 1,5 см от торца в момент завершения технологической паузы (32 с)

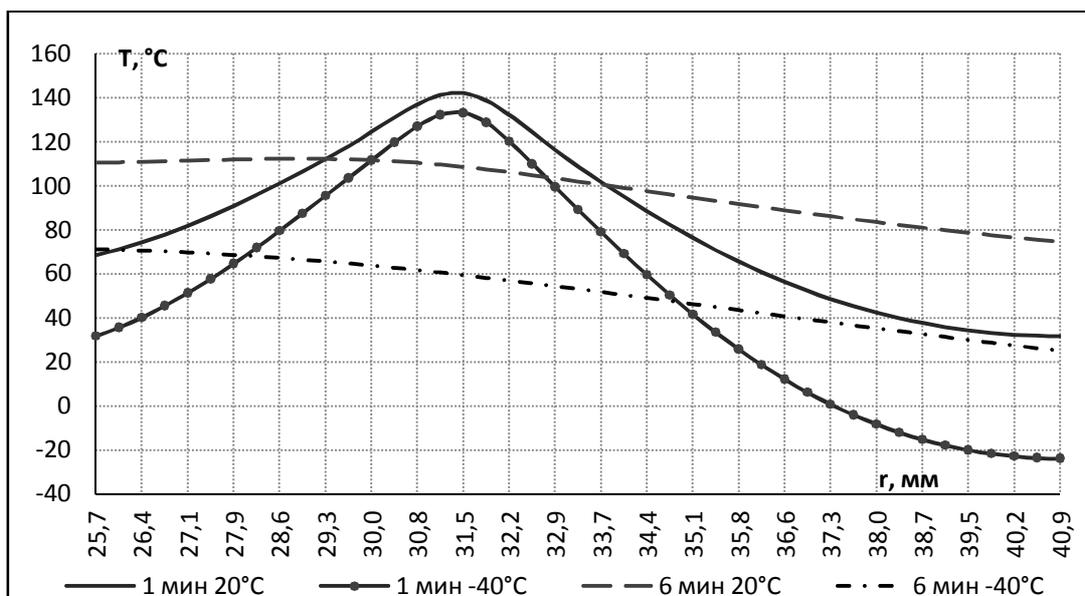


Рисунок - 2.8 Распределение температуры в стенке трубы и муфты по радиусу в различные моменты времени при охлаждении. Температура ОВ 20 и -40°С

Основная идея способа сварки при отрицательных температурах ОВ заключается в том чтобы, управляя тепловыми процессами в стенках свариваемых деталей, обеспечить их протекание по закономерностям близким к динамике температурного поля при допустимых температурах ОВ. Для этого необходимо предварительно подогреть трубу на длину вылета, превышающей глубину

раструба, специальными сменными насадками для подогрева, а затем дать остыть для равномерного распределения температуры. Сменные насадки для подогрева отличаются от сменных насадок для оплавления не только формой, но и глубиной паза, в которую вставляется конец трубы. Кроме того, для эффективного использования мощности нагревательной пластины и получения более равномерного распределения температуры в сменных насадках на их внешние поверхности, не контактирующие с нагревательной пластиной, наклеивается слой теплоизоляции толщиной 1 см.

2.3 Моделирование теплового процесса в стенках полипропиленовой трубы и муфты при предварительном подогреве

Для экспериментального определения температурных полей в диапазоне отрицательных температур, при предварительном подогреве, необходимо проведение большого объема натуральных испытаний, что достаточно трудоемко. Поэтому рациональнее использовать методы математического моделирования.

До начала процесса подогрева нагревательная пластина со сменными насадками для подогрева разогревается на открытом воздухе в течение времени проведения подготовительных работ для сварки (установки труб в центрирующее приспособление), которое занимает минимум 5 минут. Сменные насадки с теплоизоляцией необходимо хранить в теплоте, например при температуре 20 °С. Для эффективности разогрева в пазы сменных насадок для подогрева вставляется отрезок ПП трубы. Поскольку теплопроводность полипропилена низкая, то теплота по длине трубы распространяется на небольшое расстояние. Таким образом, процесс разогрева сменных насадок с отрезком трубы нагревательной пластиной подобен процессу подогрева тем же инструментом конца длинной трубы. Поэтому процесс разогрева сменных насадок, можно моделировать не отдельно, а объединить с моделированием процесса подогрева стенок трубы и муфты. При моделировании процесса подогрева отрезок трубы вынимается из

паза сменной насадки и в нее вставляется конец подогреваемой трубы или муфты с температурой окружающего воздуха. Сменные насадки для подогрева трубы и муфты отличаются друг от друга лишь диаметрами и глубиной паза. Муфта существенно короче трубы. Тем не менее, математические модели тепловых процессов подогрева трубы и муфты одинаковые с граничными условиями конвективного теплообмена на свободных концах трубы и муфты.

Расчетная схема стенки трубы и нагревательного устройства со сменной насадкой для подогрева представлена на рисунке 2.9.

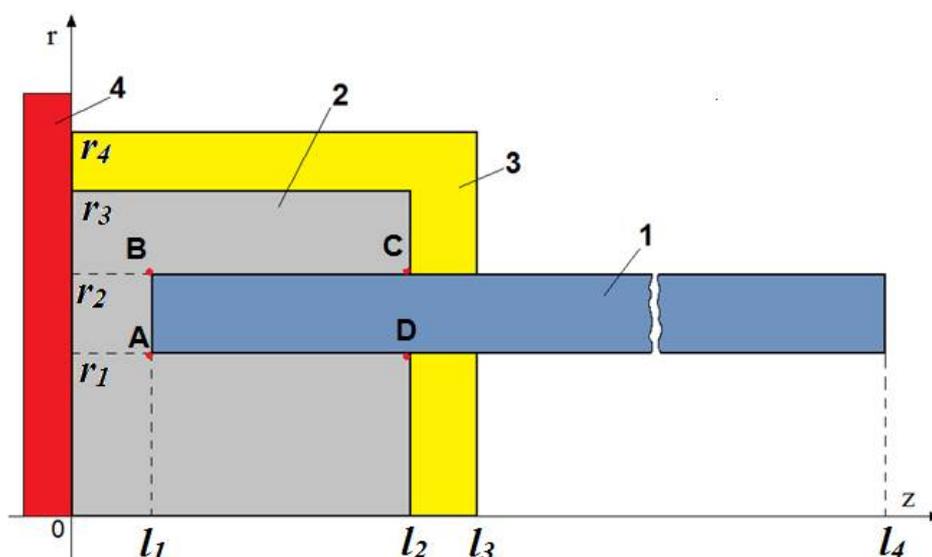


Рисунок 2.9 - Расчетная схема подогрева стенки трубы: 1 – стенка трубы; 2 – сменная насадка для подогрева; 3 – слой теплоизоляции; 4 – нагревательная пластина

Конец свариваемой трубы имеет температуру $0B$. Сменная насадка предварительно разогрета с помощью нагревательной пластины с температурой $T_{нагр}$ в течение определенного времени и его температурное поле $T_{нас}(r,z)$ известно из расчета.

Нестационарное температурное поле в стенке трубы при подогреве сменной насадкой, в воздухе внутри трубы и в сменной насадке с теплоизоляцией описывается уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах:

$$C_i \rho_i \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_i \frac{\partial T}{\partial z} \right), \quad (2.14)$$

$$0 < r < r_4, \quad 0 < z < l, \quad 0 < t < t_{mp}$$

с начальным условием:

$$T(r, z, 0) = T_{окр}, \quad r_1 \leq r \leq r_2, \quad l_1 \leq z \leq l, \quad (2.15)$$

$$T(r, z, 0) = T_{нас}(r, z), \quad \begin{cases} 0 \leq r \leq r_1, & 0 \leq z \leq l_3, \\ r_1 \leq r \leq r_2, & 0 \leq z \leq l_1, \\ r_2 \leq r \leq r_4, & 0 \leq z \leq l_3, \end{cases} \quad (2.16)$$

и граничными условиями

$$T(r, 0, t) = T_{нагр}, \quad (2.17)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \quad (2.18)$$

$$\lambda_i \frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{G_i} = -\alpha (T|_{G_i} - T_{окр}), \quad (2.19)$$

G – свободная поверхность, на которой происходит конвективный теплообмен с окружающим воздухом с коэффициентом теплообмена $\alpha = 10,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$. Задача решалась численно методом конечных разностей.

Расчеты проводились при следующих исходных данных: для материала трубы (полипропилена) объемная теплоемкость и коэффициент теплопроводности равны

$$C_1 = 1,76 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}; \quad \lambda_1 = 0,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}};$$

для материала сменной насадки (сталь)

$$C_2 = 3,82 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}; \quad \lambda_2 = 53 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}};$$

для материала теплоизоляции:

$$C_3 = 13,4 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3 \cdot \text{°C}}; \quad \lambda_3 = 0,05 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}.$$

Сменная насадка в начальный момент времени имеет однородное распределение температуры $T_{\text{нас}}(r, z) = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. В течение всего процесса разогрева на торце сменной насадки нагревательной пластиной поддерживается постоянная температура $T_{\text{нагр}} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$. Такое значение температуры нагревательной пластины получено в результате предварительных расчетов. Повышение температуры нагревателя при подогреве ведет к неоднородности распределения температуры по длине трубы в зоне раструбной сварки. Температура окружающего воздуха $T_{\text{окр}} = \text{минус } 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Диаметр трубы 63 мм, SDR 6 (PN 20). Размеры сменной насадки для подогрева указаны на рисунке 2.10.

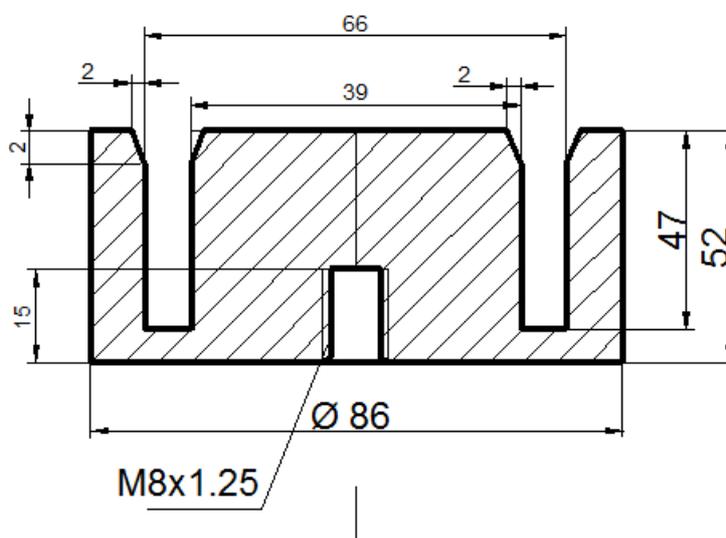


Рисунок 2.10 - Сменная насадка для подогрева концов труб SDR 6 (PN 20) диаметром 63мм

Поскольку по отрезкам BC и AD распределения температуры линейны, были рассмотрены изменения температур во времени в точках A, B, C, D (рис.2.9.).

Пусть отрезки труб имеют температуры минус 50 и 20 °С. Расчеты показывают, что при начальной температуре отрезков труб минус 50 °С в точках A и B температуры со временем повышаются и стремятся к температуре нагревательной пластины (рисунок 2.11). В точках C и D температуры вначале снижаются. Интенсивнее снижается температура в точке C. Температура в точке C начинает повышаться после 1 минуты разогрева, в то время как в точке D

повышение не наблюдается даже после 5 минут разогрева. Такое изменение температур связано с высокой объемной теплоемкостью металлической насадки.

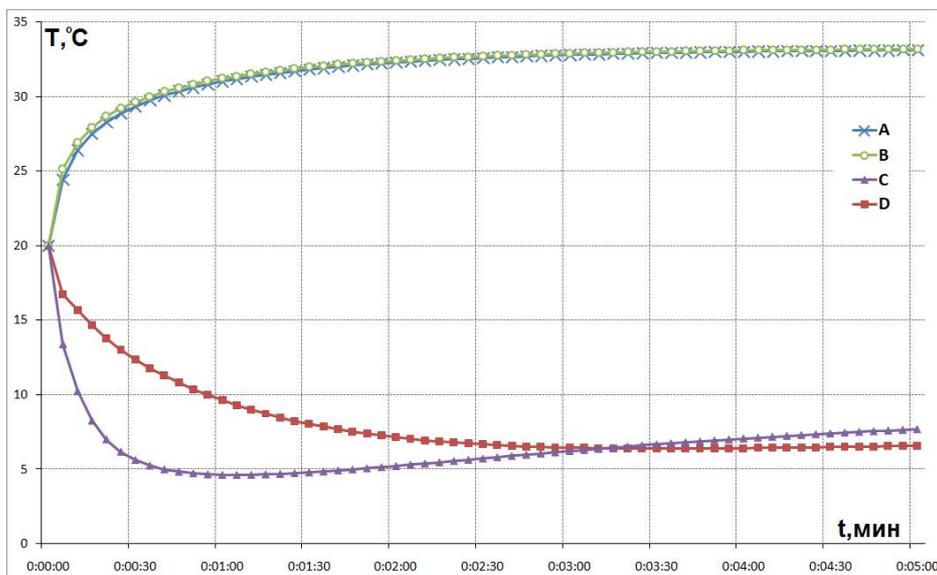


Рисунок 2.11 - Изменение температуры в точках А, В, С, D (см. рис. 2.1) сменной насадки во времени при разогреве при начальной температуре отрезка трубы минус 50 °С

В случае, когда в начале процесса разогрева стенка отрезка трубы имеет температуру 20°C, температуры в точках С и D практически не снижаются (рисунок 2.12). Таким образом, для обеспечения более равномерного распределения температуры в сменной насадке в конце разогрева необходимо, чтобы отрезок трубы, вставляемый в паз насадки, также имел температуру из допустимого для сварки интервала, например, 20 °С.

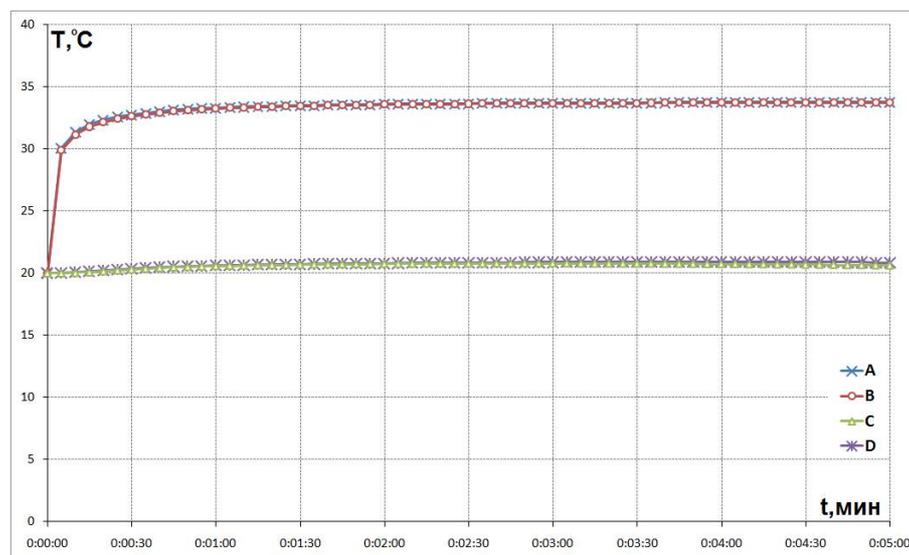
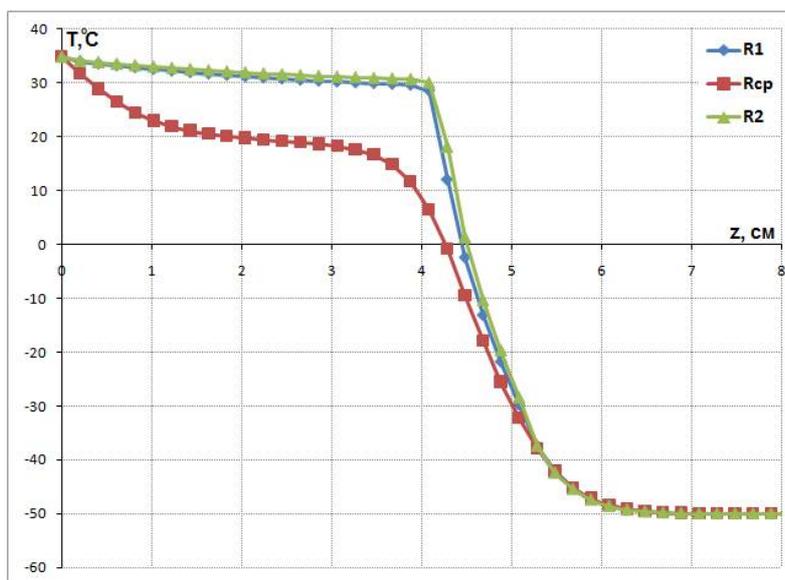


Рисунок 2.12 - Изменение температуры в точках А, В, С, D (см. рис. 2.1) сменной насадки во времени при разогреве при начальной температуре отрезка трубы 20°C

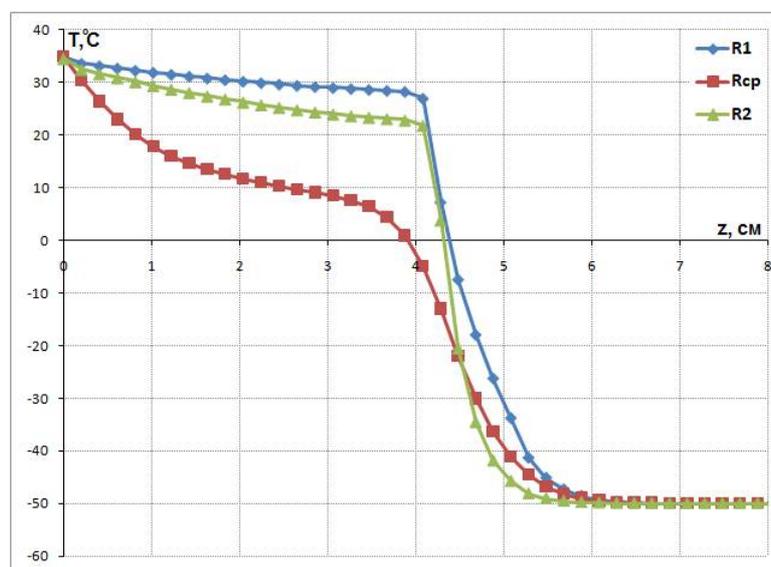
Пусть процесс подогрева свариваемого конца ПП трубы, на стенке которой установлена температура минус 50°C, производится с помощью сменной насадки для подогрева, разогретой предварительно в течение 5 минут. Отрезок трубы, вставленный в паз насадки, вынимается и вместо него вставляется конец подогреваемой трубы. Возможны два случая: внешняя поверхность подогреваемой трубы в окрестности области сварки не укрыта теплоизоляционным материалом и – укрыта слоем теплоизоляции. Температура нагревательной пластины 35 °С.

Вследствие низкой теплопроводности полипропилена при подогреве конца трубы сменной насадкой распределение температуры в стенке трубы по радиальной переменной получается близкой к параболе с минимумом в середине стенки. После подогрева, для получения радиального распределения температуры близкого к однородному, производится выравнивание температур путем свободного охлаждения. При охлаждении происходит выравнивание температур не только по радиальной переменной, но и по осевой.

На рисунке 2.13 представлено распределение температуры в стенке трубы по осевой переменной в конце подогрева продолжительностью 3,5 минуты.



а)



б)

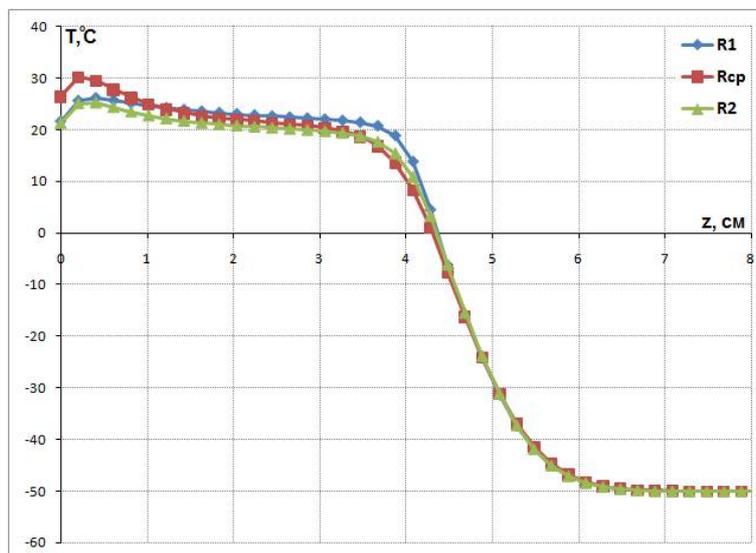
Рисунок 2.13 - Распределение температуры в стенке трубы по осевой переменной при подогреве в течение 3,5 минут: а) – без теплоизоляции; б) – с теплоизоляцией; R_1, R_2 –внутренний и внешний радиусы трубы; R_{cp} – радиус середины стенки трубы

Распределение температуры в трубе с теплоизоляцией более неоднородно. Результаты расчетов показывают, что более однородное распределение температуры получается при подогреве и охлаждении трубы без теплоизоляции. Несмотря на то, что теплоизоляционным материалом с температурой окружающей среды укрыта внешняя поверхность трубы вне зоны подогрева, его низкие температуры негативно влияют на однородность распределения

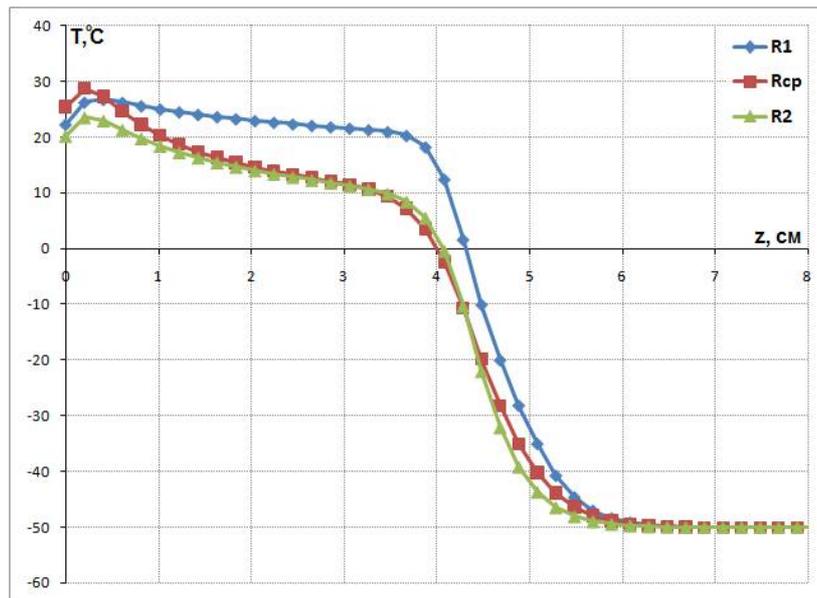
температуры в свариваемой области (рисунок 2.14). Поэтому не рекомендуется укрывать конец свариваемой трубы теплоизоляционным материалом.

Таким образом, при температуре окружающего воздуха минус 50 °С в результате подогрева и последующего охлаждения на открытом воздухе в свариваемой области длиной 30 мм получили распределение температуры в допустимом для сварки в раструб интервале от 20 до 30 °С.

Процесс подогрева муфты производится по той же расчетной схеме, что и для подогрева конца трубы, лишь с разницей в диаметрах и длине подогреваемого участка. Длина подогреваемого участка муфты равна глубине раструба и, следовательно, меньше длины подогреваемого участка трубы. Таким образом, можно не различать случай сварки муфты к первой трубе от случая, когда муфта сварена с первой трубой и к муфте приваривается вторая труба. Расчетная схема подогрева муфты представлена на рисунке 2.15.



а)



б)

Рисунок 2.14 - Распределение температуры в стенке трубы по осевой переменной после охлаждения в течение 20 с: а) – без теплоизоляции; б) – с теплоизоляцией; R_1, R_2 – внутренний и внешний радиусы трубы; R_{cp} – радиус середины стенки трубы

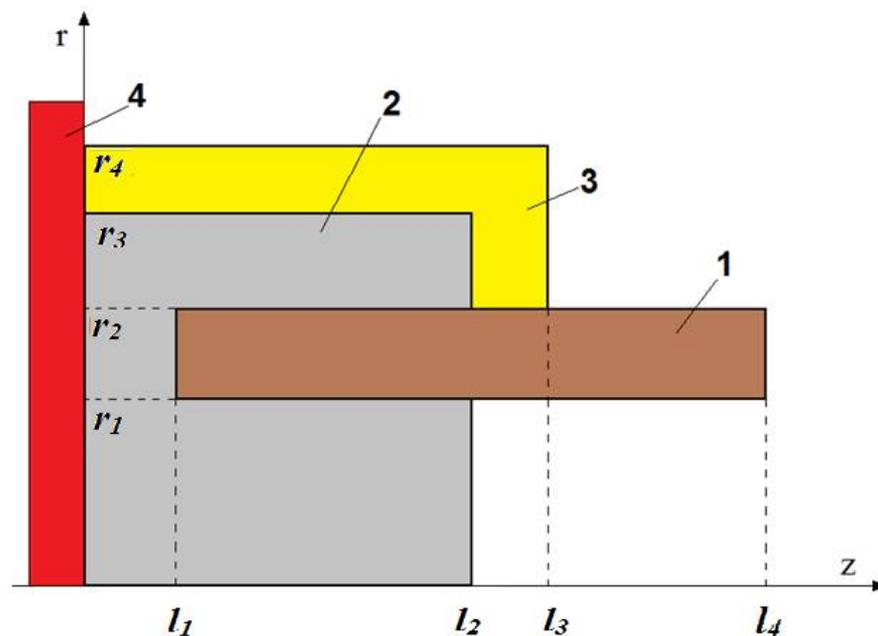


Рисунок 2.15 - Расчетная схема подогрева муфты: 1 – стенка муфты; 2 – сменная насадка для подогрева муфты; 3 – слой теплоизоляции; 4 – нагревательная пластина

При расчетах рассматривалась муфта для раструбной сварки ПП труб диаметром 63мм при температуре окружающего воздуха минус 50 °С.

Температура стенки муфты равна температуре окружающего воздуха. Сменной насадкой муфта подогревается на глубину раструба равную 27,5 мм.

Расчеты показывают, что продолжительности подогрева и охлаждения для получения распределения температуры близкого к однородному трубы SDR 6 и муфты совпадают. Поэтому подогрев трубы и муфты можно реализовать одновременно (рисунки 2.16, 2.17). При сварке трубы SDR 11 прогрев муфты начинать надо раньше чем прогрев тубы.

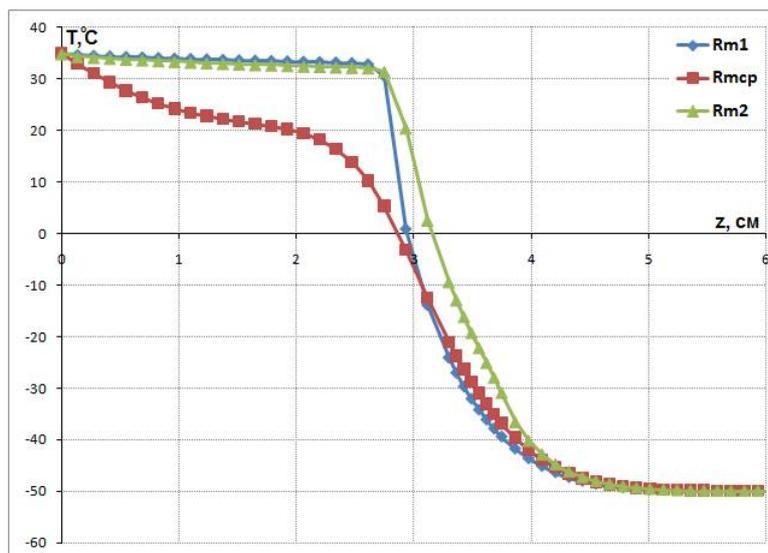


Рис. 2.16. Распределение температуры в стенке муфты по осевой переменной при подогреве в течение 3,5 минут: R_{m1}, R_{m2} –внутренний и внешний радиусы муфты; R_{mcp} – радиус середины стенки муфты

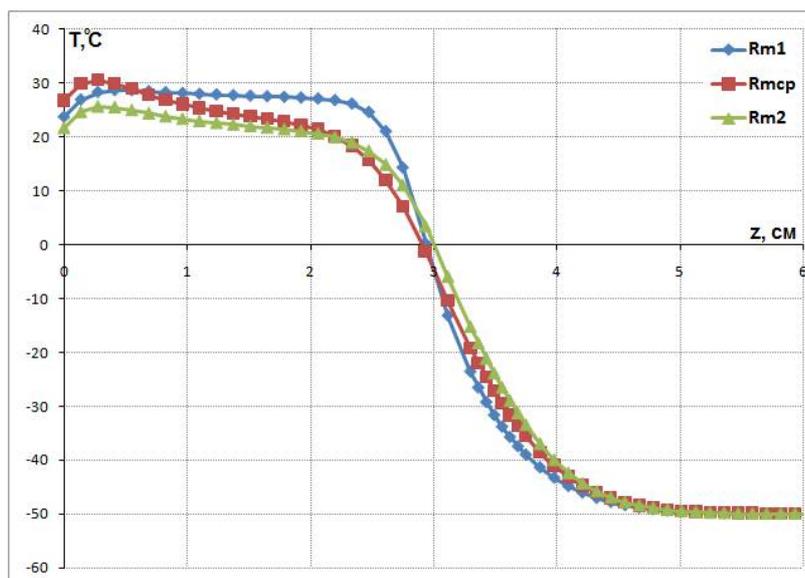


Рисунок 2.17 - Распределение температуры в стенке муфты по осевой переменной после охлаждения в течение 20 с: R_{m1}, R_{m2} –внутренний и внешний радиусы муфты; R_{mcp} – радиус середины стенки муфты

2.4 Разработка способа расширения интервалов допустимых температур окружающего воздуха для проведения сварки полипропиленовых труб

Исследования теплового процесса сварки полипропиленовых труб нагретым инструментом в раструб показали возможность проведения сварочных работ при низких температурах без строительства отапливаемых сооружений. Управлением теплового процесса можно обеспечить протекание теплового процесса сварки при низких температурах по закономерностям, характерным при сварке в условиях допустимых температур окружающего воздуха. Перечислим основные особенности сварки при низких температурах:

Для обеспечения равномерного распределения температуры и снижения температурных напряжений на стенке свариваемого конца трубы и муфты необходимо предварительно подогреть свариваемый конец трубы и соединительную муфту с помощью сменных насадок до определенной температуры выше 20 °С. Затем дать им остыть до 20°С для равномерного распределения температуры по всей зоне сварки. После подогрева производится стандартная сварка. Охлаждение сварного соединения после сварки производится под теплоизоляцией. Технологическая схема процесса предварительного подогрева и сварки показана на рисунке 2.18.

Продолжительность подогрева перед проведением сварки, продолжительность выравнивания температур из условия обеспечения распределения температуры близкого к однородному, в зависимости от температуры окружающей среды, типоразмеров полипропиленовых труб определяются расчетом. Толщина теплоизоляции, обеспечивающая охлаждение сварных соединений по закономерностям близким динамике температур при допустимых температурах окружающего воздуха также необходимо определить расчетным путем.

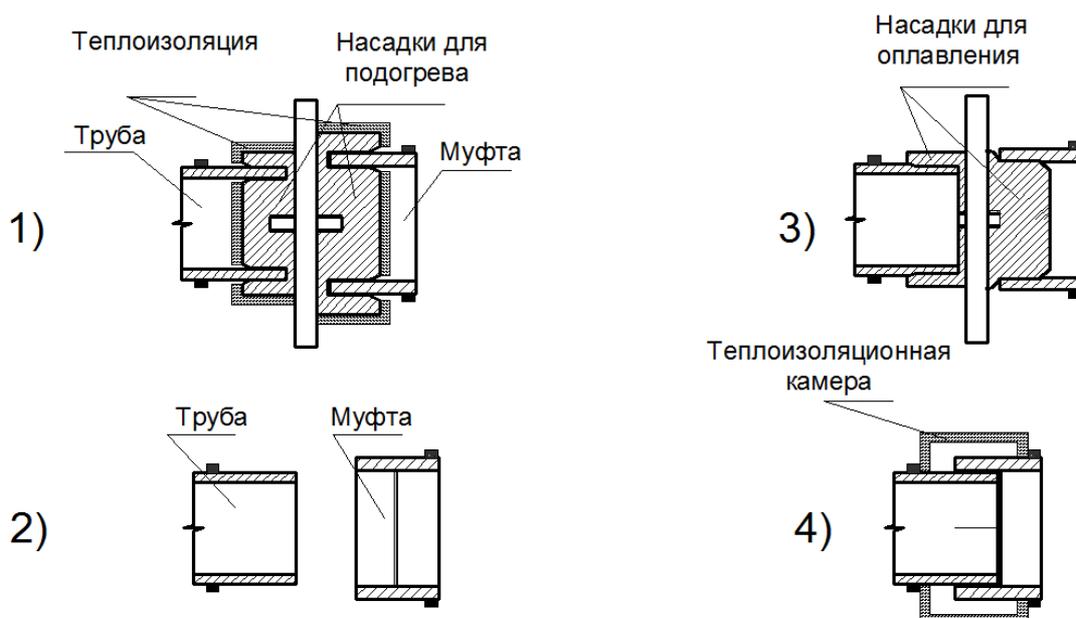


Рисунок 2.18 - Технологическая схема сварки полипропиленовых труб при низких температурах: 1– предварительный подогрев; 2–остывание для равномерного распределения температур; 3 – оплавление; 4 – охлаждение

2.5 Определение технологических параметров сварки нагретым инструментом в раструб и продолжительности охлаждения полипропиленовых труб различного сортамента при низких температурах

В ИПНГ СО РАН разработана программа **PWH-Tumpet** (рисунок 2.19) для расчета температурного поля трубы при подогреве, в которую вводятся размеры трубы, значения теплофизических свойств, температура окружающей среды. Для практического использования для труб различного сортамента с помощью программы рассчитываются продолжительности подогрева и охлаждения для выравнивания температур, обеспечивающие распределение температуры в зоне сварки близкое к однородному.

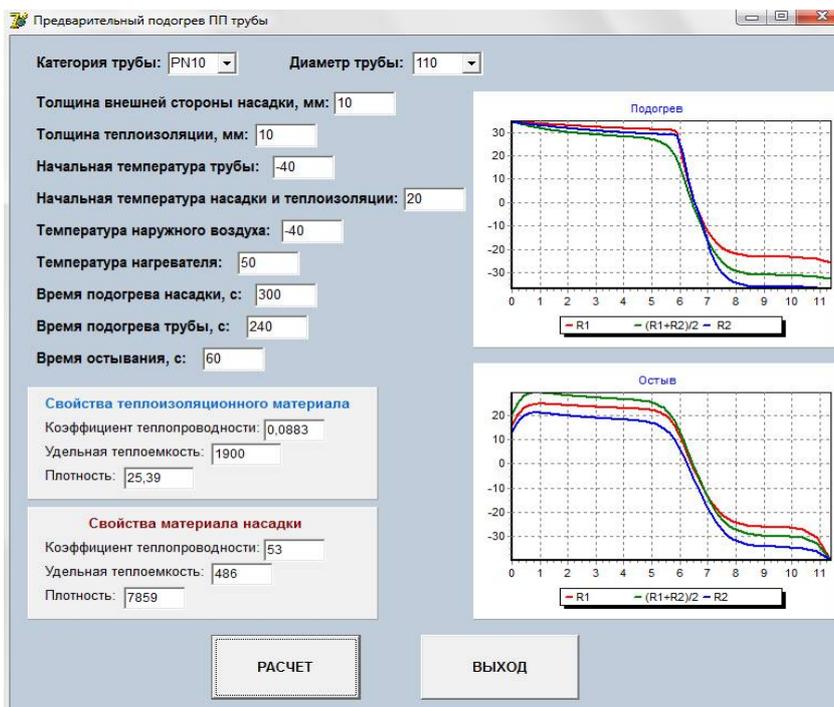


Рисунок 2.19 - Диалоговое окно программы PWH-Trumpet для ввода исходных данных и расчета продолжительности предварительного подогрева

В таблице 2.1 приведены результаты расчета продолжительностей подогрева и охлаждения для выравнивания температур труб и муфты с использованием математической модели теплового процесса с эффективными коэффициентами, полученными в результате сопоставления расчетных и экспериментальных температурных данных: $\rho = 862, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $C = 1500, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$; $\lambda = 0.22, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}$.

Продолжительности подогрева и охлаждения

Температура ОВ		Ø, мм				
		50	63	75	90	110
-50 °С	Муфта	120	180	300	360	540
	SDR 11	60	90	180	180	240
	SDR 6	120	180	300	360	540
	Охлаждение	30	40	50	50	60
-40 °С	Муфта	120	180	240	300	480
	SDR 11	90	120	120	180	240
	SDR 6	120	180	240	300	480
	Охлаждение	40	50	60	60	60
-30 °С	Муфта	120	180	240	300	480
	SDR 11	90	90	120	180	240
	SDR 6	120	180	240	300	480
	Охлаждение	50	60	70	90	90
-20 °С	Муфта	90	120	180	300	420
	SDR 11	60	90	120	180	180
	SDR 6	90	120	180	300	420
	Охлаждение	60	80	90	120	120
-10 °С	Муфта	90	120	180	240	300
	SDR 11	60	90	120	120	180
	SDR 6	90	120	180	240	360
	Охлаждение	90	120	150	150	180

2.6 Определение глубины паза сменной насадки для подогрева

Исследование влияния на распределение температуры глубины паза сменной насадки для подогрева, определяемую по формуле

$$l_{\text{паза}} = kl_{\text{раструба}}$$

где $l_{\text{раструба}}$ – глубина раструба, в расчетах продолжительностей подогрева и охлаждения $k=1,66$ для всех типоразмеров труб.

Для полипропиленовой трубы диаметром 63мм SDR 6 ($\rho = 862, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; $C = 1500, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{°C}}$; $\lambda = 0,22, \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{°C}}$) расчетами исследованы значения температур в стенке трубы в конце охлаждения для выравнивания температур при температуре ОВ минус 40°Сс продолжительностью подогрева и охлаждения, соответствующими значениям в таблице 3.1 ($t_{\text{подогр}} = 240 \text{ с}$, $t_{\text{охлажд}} = 120 \text{ с}$) при различных значениях k . Результаты расчетов, приведенные на рисунке 2.20 показывают наличие максимума в значениях температуры трубы на расстоянии $l_{\text{раструба}} = 0,028 \text{ м}$ при $k=1,5$. В интервале изменения k от 1,4 до 2 значения температуры на расстоянии раструба меняются в пределах 1,6°С, что свидетельствует о равнозначности воздействия длины сменной насадки для подогрева с такими коэффициентами k на температуру стенки трубы в пределах длины раструба. Дальнейшее увеличение k приводит к снижению температуры в конце раструба в связи с отдалением от нагревательной пластины и неравномерностью нагрева поверхности насадки.

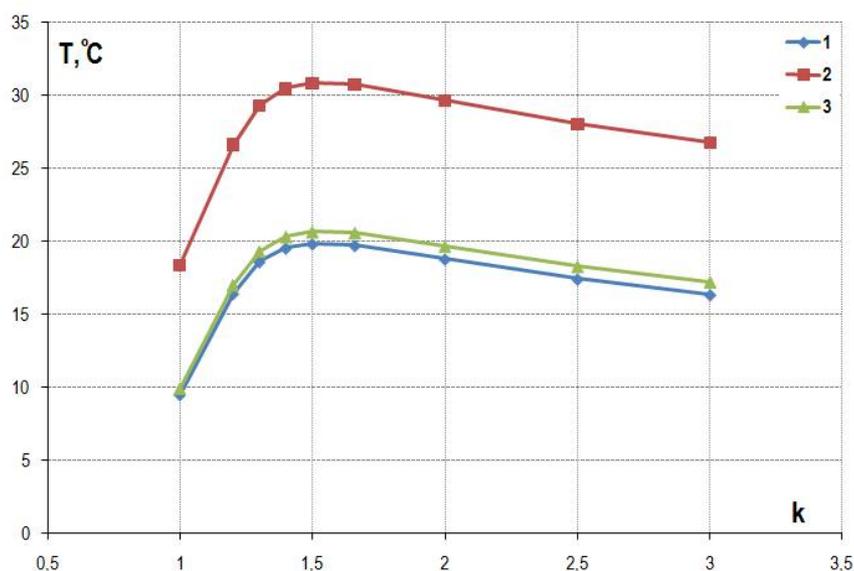


Рисунок 2.20 - Изменение температуры в трубе 63 SDR 6 (PN20) на расстоянии $l_{\text{раструба}} = 0,028 \text{ м}$ в зависимости от коэффициента k в конце выравнивания температур путем охлаждения. 1 – на внутренней поверхности трубы $r = R_1$; 2 – в середине по толщине трубы $r = (R_1 + R_2)/2$; 3 – на внешней поверхности трубы $r = R_2$

Таким образом, для полипропиленовой трубы диаметром 63 мм глубина паза сменной насадки для подогрева может меняться от 39 до 56 мм (расчетное значение – 47 мм). При таких значениях глубины паза сменной насадки в пределах длины раструба стенка трубы будет подогрета практически одинаково. Характерные распределения температуры по толщине стенки трубы представлены на рисунке 2.21. При изменении k от 1,4 до 2 кривые лежат достаточно плотно с разбросом в 2 °С.

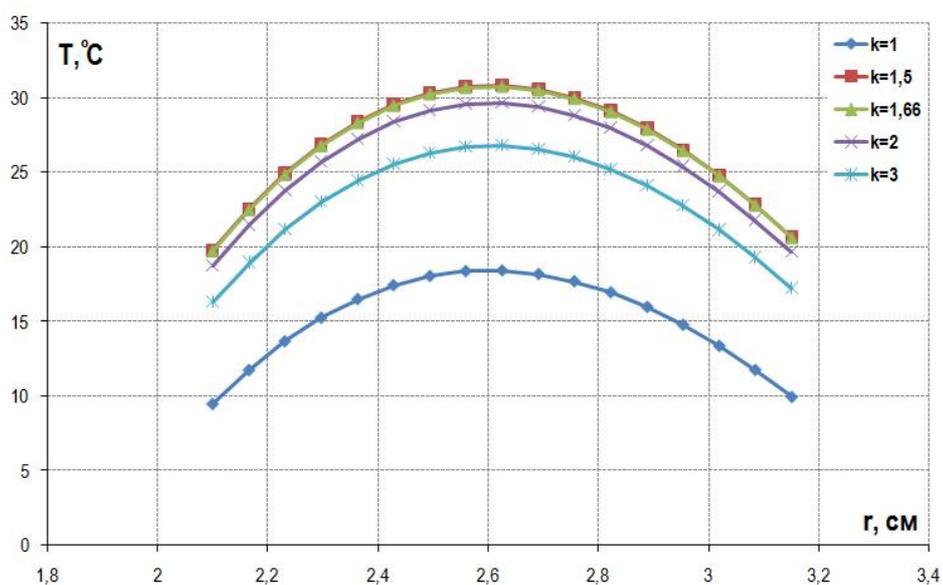


Рисунок 2.21 Распределение температуры по толщине стенки трубы 63 SDR 6 (PN20) при различных значениях k на расстоянии по длине трубы $l_{раструба} = 0,028$ м в конце выравнивания температур путем охлаждения

Аналогичные результаты получены для полипропиленовой трубы $\varnothing 110$ SDR 6 (PN20) длина раструба равна $l_{раструба} = 0,036$ м. При $T_{окр} = \text{минус } 40^\circ\text{C}$ согласно таблице время подогрева и охлаждения равны $t_{подогр} = 330$ с, $t_{охлажд} = 120$ с (рисунки 2.22, 2.23).

Изменение характера в распределении температуры по толщине стенки трубы связано с большей теплоотдачей в окружающую среду с внешней поверхности трубы по сравнению с теплоотдачей на внутренней поверхности.

Также как и для трубы диаметром 63мм при изменении k от 1,4 до 2 кривые температур отличаются незначительно.

Таким образом, для эффективного подогрева полипропиленовой трубы диаметром 110мм для раструбной сварки при низких температурах глубина паза сменной насадки для подогрева может изменяться от 50 до 72 мм.

Достаточно широкий интервал изменения глубины паза сменной насадки для подогрева позволяет исключить корректировку ее значений, поскольку в расчетах эта величина равна примерно 60 мм.

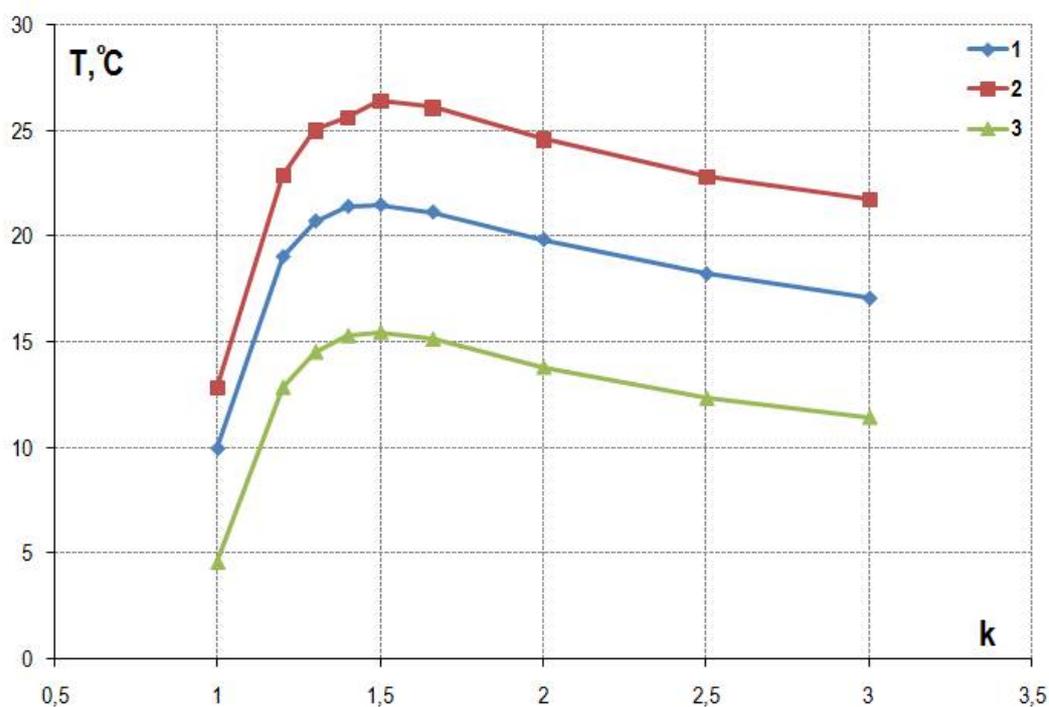


Рисунок 2.22 - Изменение температуры в трубе 110 SDR 6 (PN20) на расстоянии $l_{\text{раструба}} = 0,036$ м в зависимости от коэффициента k в конце выравнивания температур путем охлаждения. 1 – на внутренней поверхности трубы $r = R_1$; 2 – в середине по толщине трубы $r = (R_1 + R_2)/2$; 3 – на внешней поверхности трубы $r = R_2$.

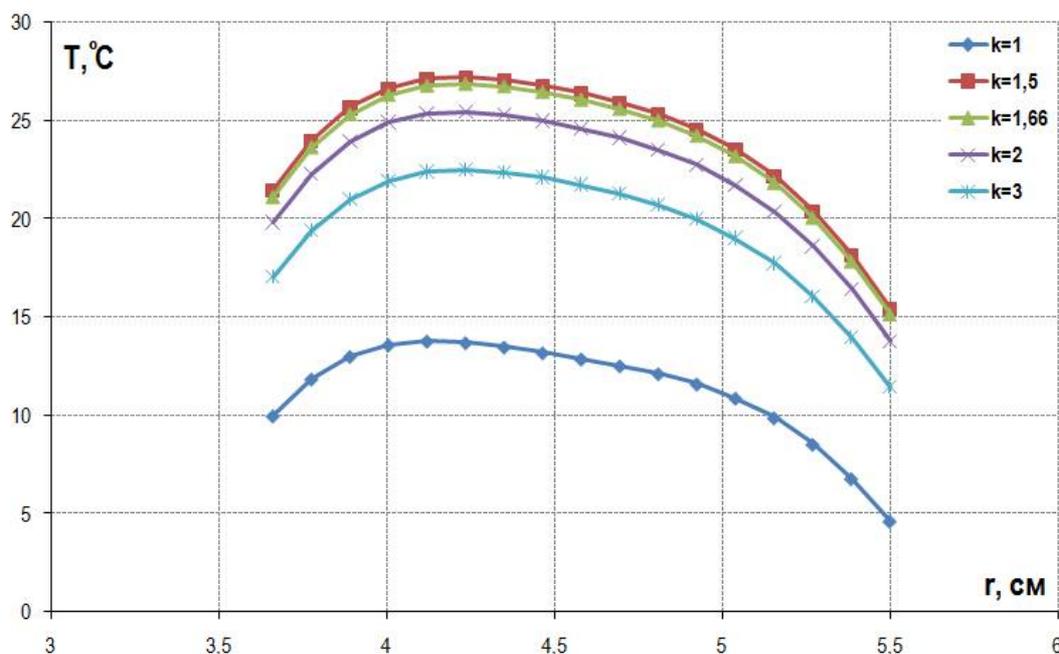


Рисунок 2.23 - Распределение температуры по толщине стенки трубы 110 SDR 6 (PN20) при различных значениях k на расстоянии по длине трубы $l_{\text{раструба}} = 0,036$ мв конце выравнивания температур путем охлаждения.

2.7. Расчет толщины теплоизоляции

При моделировании теплового процесса сварки необходимо учитывать поглощение теплоты при оплавлении полипропилена и выделение теплоты при ее кристаллизации. Для этого использовалась термограмма, полученная ДСК (рисунок 2.24).

Предварительный подогрев свариваемых концов труб и муфты позволяет нагрев (оплавление) производить по режимам, рекомендуемым нормативными документами. Продолжительность технологической паузы регламентирована по условию выполнения операций по снятию нагревательного инструмента с трубы и муфты и их сближения. Управлять динамикой температурного поля можно только на этапе охлаждения. Управляющим параметром будет служить толщина теплоизоляционного слоя. Необходимо определить такую толщину теплоизоляции, которая бы обеспечивала изменение температурного поля по закономерностям, близким динамике температурного поля при допустимых температурах окружающего воздуха.

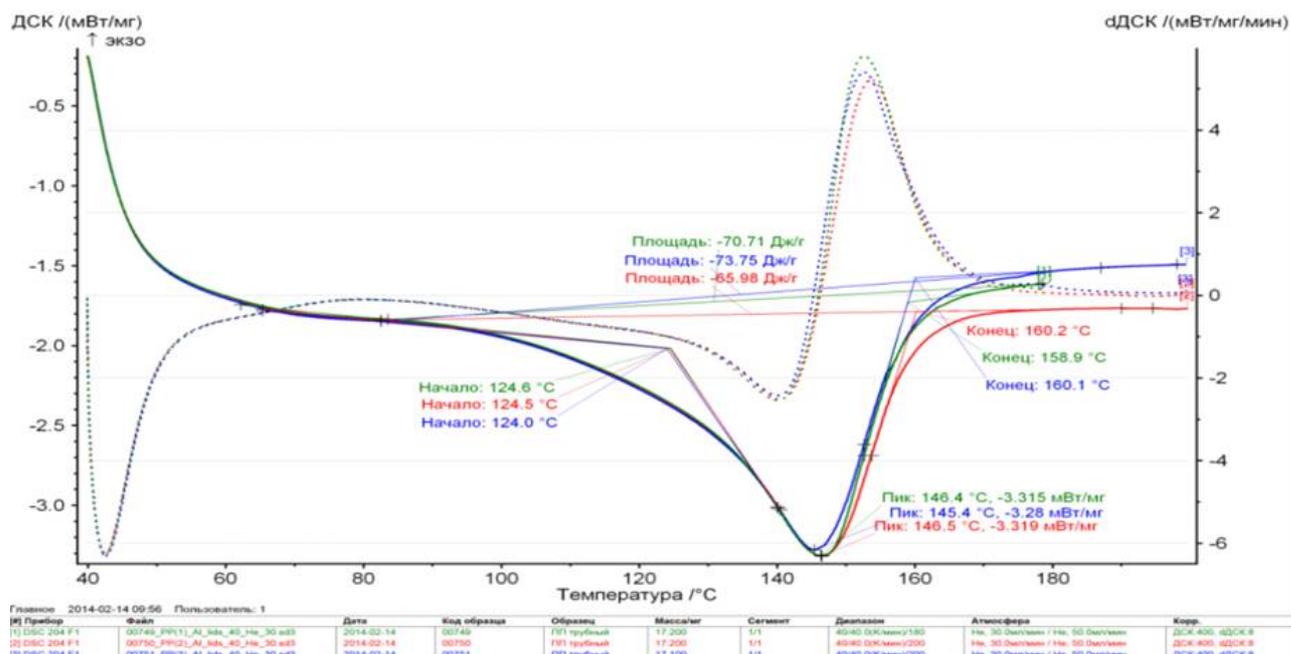


Рисунок 2.24 - Термограммы ДСК образцов ПП труб, зарегистрированные NETZSCHDSC 204 F1 при скорости нагрева 40°C/мин

Поскольку при тепловой контактной сварке оплавлению подвергаются лишь прилегающие к свариваемым поверхностям области, в формировании сварного соединения участвуют участки трубы и муфты, ограниченные изотермой 140 °С (температура фазового перехода полипропилена). Расчетами установлено, что внешняя поверхность трубы (внутренняя поверхность муфты) прогревается до температуры 140 °С на глубину не более 1 мм.

Определены предельные кривые изменения температур по времени при температурах окружающего воздуха 0 и 20 °С (рисунки 2.25, 2.26; кривые 1, 1', 2, 2'). Исследование динамики температурного поля в стенках трубы и муфты показало, что при толщине теплоизоляции 2 см зависимости температуры от времени при температуре окружающего воздуха минус 40 °С приближаются к допустимому значению при температуре ОВ 20°С. При этом можно допустить, что незначительное расхождение температур после охлаждения в течение 4,5 мин для трубы (3,5 мин для муфты) не будет оказывать существенное влияние на качество сварного соединения. На рисунках 2.25, 2.26 показаны характерные зависимости изменения температур при охлаждении под теплоизоляцией. Аналогичные зависимости получаются и для других точек области, ограниченной

изотермой 140 °С.

Таким образом, при температуре воздуха минус 40 °С теплоизоляция сварного соединения при его охлаждении толщиной 2 см обеспечит для рассматриваемого типоразмера ПП трубы протекание теплового процесса по закономерности, при которой сформируется структура материала сварного соединения с требуемой нормативами прочностью.

Предлагаемая методика и программа позволяет рассчитать толщины теплоизоляции при раструбной сварке ПП труб различного типоразмера при различных низких температурах.

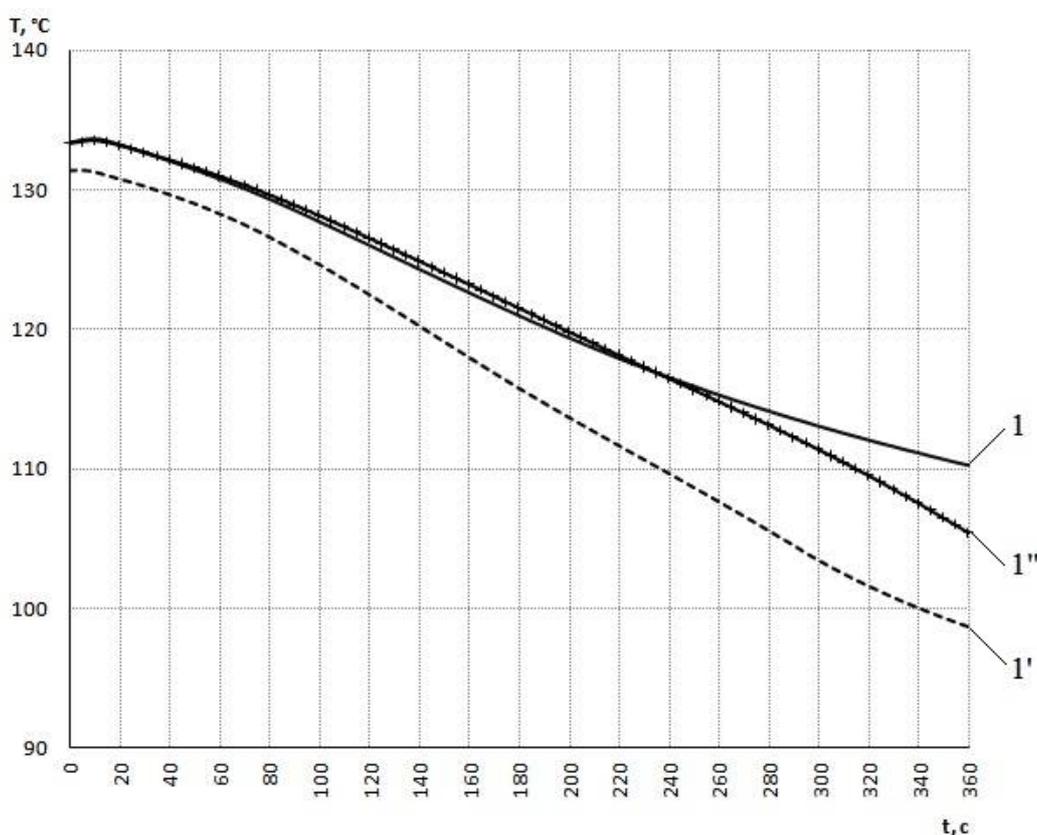


Рисунок 2.25 - Распределение температуры по времени при охлаждении в трубе. 1, 1', 1'' – (30,41; 10,5) мм, на расстоянии 1,09 мм от внешней поверхности трубы; 1 – Температура ОВ 20 °С; 1' – Температура ОВ 0 °С; 1'' – Температура ОВ минус 40 °С с изоляцией 2см

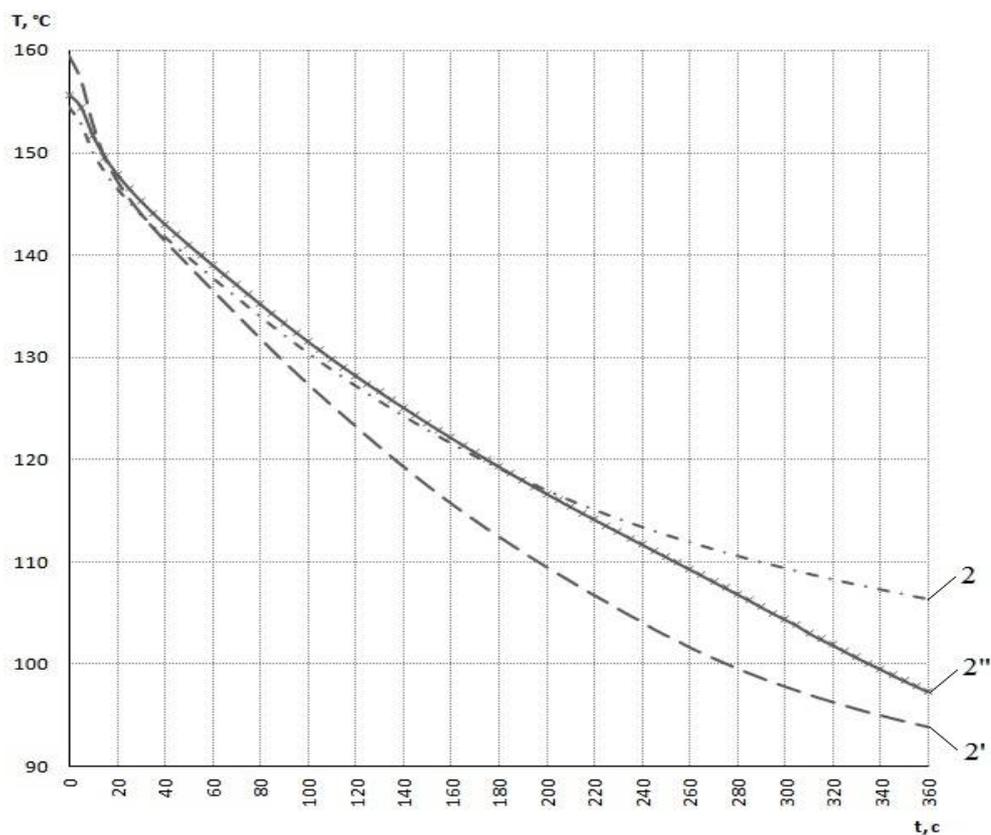


Рисунок 2.26 - Распределение температуры по времени при охлаждении в муфте. 2, 2', 2'' – (32,26; 10,5) мм, на расстоянии 0,76 мм от внутренней поверхности муфты; 2 – Температура ОВ 20°С; 2' – Температура ОВ 0°С; 2'' – Температура ОВ минус 40 °С с изоляцией

Оплавление, технологическая пауза и приведение в контакт свариваемых поверхностей проводится согласно регламентируемым нормативными документами временным параметрам. Охлаждение сварных соединений трубы ПП диаметром 63мм SDR 11 проводилось под слоем теплоизоляции (вспененный полиэтилен) расчетной толщиной 2 см. В расчетной математической модели, описывающей охлаждение, учитывался фазовый переход в интервале температур [3,115]. При охлаждении под теплоизоляцией с расчетной толщиной тепловой процесс протекает по закономерностям близким динамике температурного поля сварки нагретым инструментом в раструб при температуре окружающего воздуха 0°С (рисунок 2.27, кривая 4). Расчеты показывают, что при низких температурах ОВ увеличение толщины теплоизоляции до 3 см и уменьшение до 1 см не приводит к существенному изменению распределения температуры по толщине стенки трубы и муфты в конце стадии охлаждения. Таким образом, использование

вспененного полиэтилена в качестве теплоизоляции не позволяет управлять процессом охлаждения в широком температурном интервале. Аналогичный результат получается при использовании в качестве теплоизолятора других известных теплоизоляционных материалов. Качество сварного соединения при сварке в условиях низких температур с использованием слоя теплоизоляции будет близко качеству сварного соединения, полученного при допустимой температуре 0 °С. Тем не менее, использование слоя теплоизоляции не позволяет улучшать качество сварного соединения при сварке в условиях низких температур.

Качество сварных соединений, полученные проведением сварки ПП труб при температурах воздуха ниже нормативных согласно расчетным технологическим параметрам, невозможно улучшить изменением толщины слоя теплоизоляции из традиционных теплоизоляционных материалов. Такое положение объясняется тем, что традиционные теплоизоляционные материалы эффективны при сохранении теплоты при стационарном тепловом процессе, при котором теплоемкость не влияет на распределение и динамику температуры. При управлении нестационарным тепловым процессом, каковым является процесс охлаждения при сварке, значение теплоемкости теплоизоляционного материала имеет существенное влияние на динамику и распределение температуры. Распределение температуры в муфте и трубе существенно меняется при малых значениях теплоемкости теплоизоляционного материала. Исходя из этого, для улучшения качества сварных соединений, полученных при низких температурах, предлагается использовать теплоизолирующие свойства воздушной прослойки, имеющей достаточно малое значение теплоемкости.

На рисунке 2.27 представлены временные зависимости температур в сварном шве (а) и распределения температур в стенках трубы диаметром 63мм SDR 11 и муфты по радиальной координате после охлаждения сварного соединения в течение 4 мин (б) при использовании различных способов теплоизоляции и без нее. На рисунке 6 представлена схема теплоизоляционной камеры используемой для охлаждения сварного соединения в условиях отрицательной температуры.

o

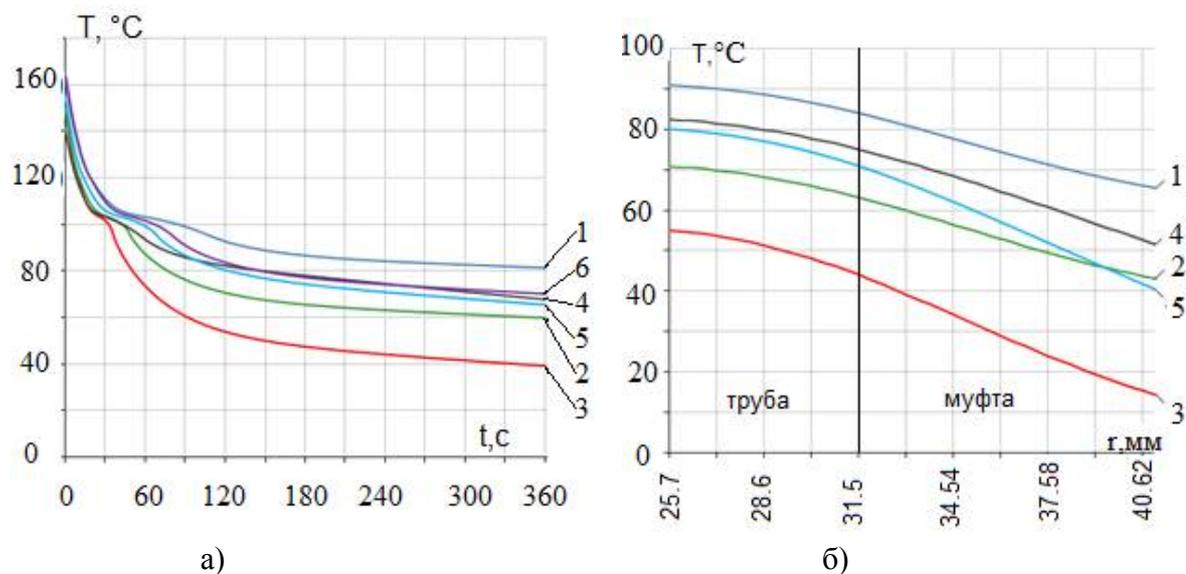
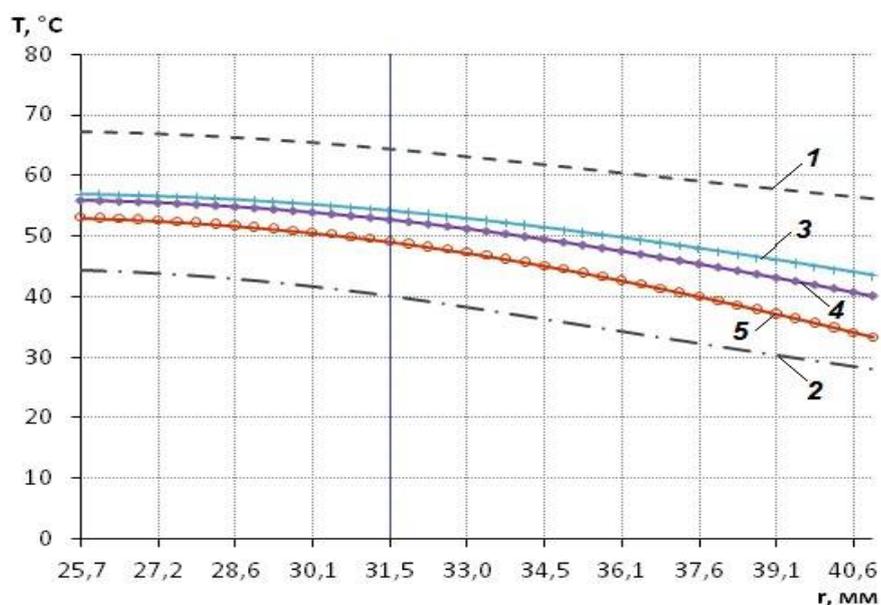


Рисунок 2.27 - Временные зависимости температур в сварном шве (а) и распределения температур в стенках трубы $\varnothing 63$ SDR 11 и муфты по радиальной координате после охлаждения сварного соединения в течение 4 мин (б) при различных температурах ОВ с теплоизоляционной камерой и без нее: 1 – 30; 2 – 5; 3 – -40 °С; 4 – -40 °С с подогревом, охлаждение с камерой (2 см воздух, 2 см толщина стенки камеры); 5 – -40 °С с подогревом, охлаждение без камеры; 6 – -40 °С

При допустимых значениях температур ОВ 30 и 5 °С охлаждение проводится без теплоизоляции (кривые 1-2). Скорость остывания при температуре ОВ 30°С, в интервале 105 -100 °С (интервал в котором происходит интенсивная кристаллизация) составляет $V_{105-100}=10$, а в интервале 100-90°С (до конца процесса кристаллизации) $V_{100-90}=20$ °С/мин. При температуре ОВ 5°С (нижний предел допустимых для сварки температур ОВ без увеличения времени нагрева) скорости остывания составляют $V_{105-100}=40$, $V_{100-90}=30$ °С/мин. При температуре ОВ минус 40 °С сварка без подогрева и охлаждения без теплоизоляции приводит к существенному снижению температур ($V_{105-100}=75-60$, $V_{100-80}=30$ °С/мин) и кривые распределения температур лежат вне допустимого коридора изменения температур (кривая 3). В условиях низких температур использование предварительного подогрева и теплоизоляционной камеры с толщиной стенки 2 см и прослойкой воздуха 2 см приводит к скорости охлаждения на стадии кристаллизации, характерной при сварке в условиях допустимой температуры ОВ

(кривая 4). Для сравнения приводится кривая изменения во времени температуры в сварном шве при температуре 0 °С (кривая 6).

Использование камеры позволяет регулировать динамику и распределение температуры изменением высоты камеры (толщины слоя воздуха). На рисунке 2.28 представлены распределения температуры в стенках трубы и муфты в конце охлаждения при различных вариантах камеры. Увеличение толщины воздушной прослойки приводит к повышению температуры по всей толщине стенок (кривые 3-5). Закономерность изменения температуры по толщине стенки близка к допустимым распределениям. С увеличением толщины прослойки воздуха кривые поднимаются вверх и сходятся к некоторой предельной зависимости. Следовательно, использование камеры с воздухом позволяет управлять охлаждением и получать распределение температуры в стенках трубы и муфты в некотором коридоре изменения.



1 – температура ОВ 35°С; 2 – температура ОВ 0°С; 3 – камера (3 см воздух, 2 см толщина стенки камеры); 4 – камера (2 см воздух, 2 см толщина стенки камеры); 5 – камера (1 см воздух, 1 см толщина стенки камеры).

Рисунок 2.28 - Распределение температуры по радиальной координате после охлаждения сварного соединения с течение 6 мин при различных вариантах камеры и температуре ОВ -40°С (кривые 3-5)

Корректирование теплоизоляции при охлаждении путем использования теплоизоляционной камеры с воздухом вместо слоя теплоизоляции позволит повысить качество сварного соединения.

2.8. Проведение сварки полипропиленовых труб при температурах воздуха ниже нормативных согласно скорректированным технологическим параметрам

При проведении сварки полипропиленовых труб при температурах воздуха ниже нормативных корректировке подвергались дополнительные технологические параметры – температура сменной насадки для подогрева, а также продолжительности подогрева и охлаждения для выравнивания температур. Температура сменной насадки вместо расчетной 35°C бралась равной 50 °С.

Продолжительности подогрева и охлаждения для выравнивания температур относятся к параметрам, которые корректируются в процессе проведения сварки при низких температурах. Это связано с тем, что продолжительности подогрева и охлаждения взаимосвязаны и существует множество равнозначных путей достижения близких распределений температуры в подогреваемой области. Увеличение продолжительности подогрева неизбежно приводит к увеличению времени охлаждения до определенной температуры в некоторой точке. Такое же значение температуры в этой точке можно получить при других значениях продолжительностей подогрева и охлаждения. В связи с этим при проведении сварки проводились предварительные расчеты продолжительностей подогрева и охлаждения, которые корректировались по результатам регистрации температур в нескольких точках стенок трубы и муфты. На рисунке 2.29 представлена схема расположения термопар в стенках трубы и муфты.

Процесс подогрева проводился до достижения по показаниям термопар в середине стенки на расстоянии равном половине глубины раструба определенной температуры (например, 40 °С).

Выравнивание температур проводилось до достижения по показаниям термопар температуры равной расчетной, при которой распределение температуры по толщине наиболее близко к однородному распределению.

Характерные зависимости температуры от времени, полученные регистрацией в точках в серединах стенок трубы диаметром 63мм, SDR 11 и муфты при сварке в условиях низких температур представлены на рисунке 2.30.

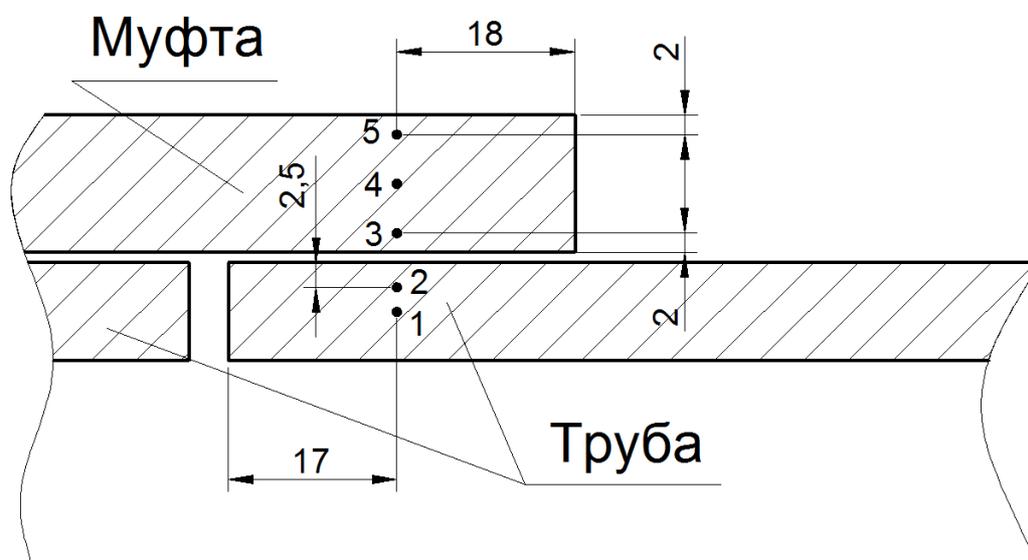


Рисунок 2.29 - Схема расположения термопар в трубе $\varnothing 110$ и муфте при предварительном подогреве и сварке

Зависимости температур имеют условно 5 характерных интервалов времени. Поскольку муфта подогревается дольше, чем труба, на первом интервале времени, равном разности расчетных продолжительностей подогрева муфты и трубы, подогревается только муфта. Затем подогреваются и муфта, и труба. Процессы подогрева муфты и трубы завершаются одновременно. На третьем интервале времени муфта и труба охлаждаются. Процессы охлаждения муфты и трубы также завершаются одновременно. Далее, внутренняя поверхность муфты и

внешняя поверхность трубы оплавляются в течение времени согласно регламентируемым нормативными документами (для трубы диаметром 63мм время оплавления равно 24 с, для трубы диаметром 110мм – 50 с). На пятом интервале времени после технологической паузы труба и муфта приводятся в контакт и сварное соединение охлаждается под теплоизоляционный слой в течение регламентированного времени. Для трубы диаметром 63мм время полного остывания составляет 6 минут, для диаметра 110мм – 8 минут. Заметим, что, несмотря на удаление нагревательного инструмента на стадии охлаждения, температура в середине стенок трубы и муфты продолжает возрастать вследствие воздействия теплоты на приповерхностной области и теплоты фазового перехода при кристаллизации оплавленного слоя материала.

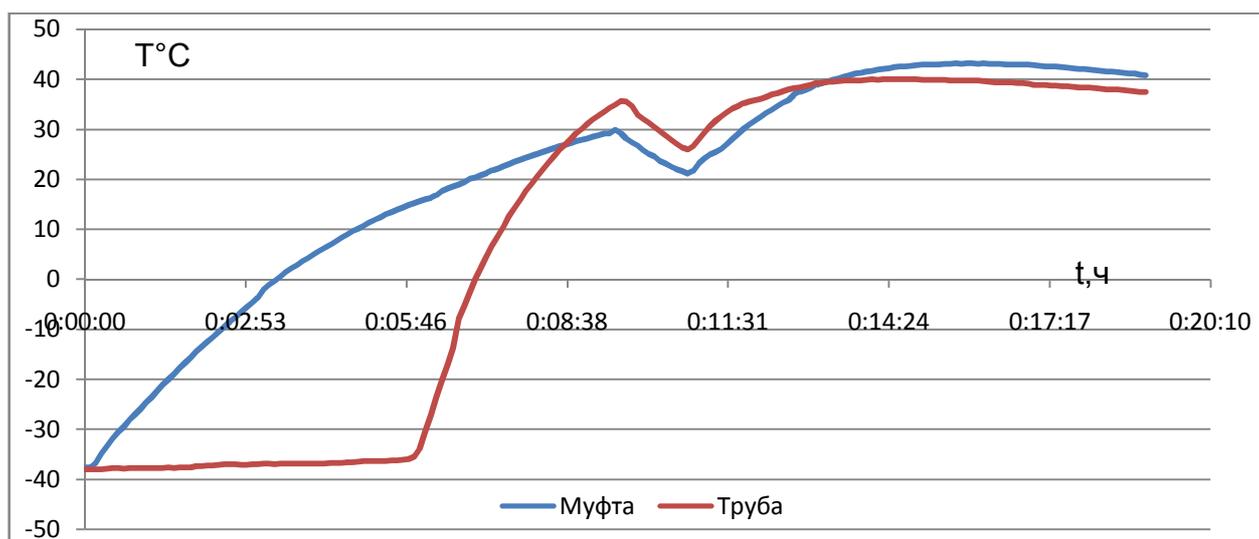


Рисунок 2.30 - Характерные зависимости температуры от времени в стенках трубы и муфты

В результате проведения сварки при низких температурах расчетные и экспериментальные температурные данные сопоставлялись и в математической модели теплового процесса подогрева и охлаждения для выравнивания температур теплофизические характеристики материала трубы и муфты уточнялись. Уточнялись также коэффициенты теплообмена со свободных поверхностей трубы и муфты. Таким образом, сварка при низких температурах

проводилась с контролем температур стенок муфты и трубы и скорректированными продолжительностями подогрева и охлаждения.

Сменные насадки для подогрева на внешних поверхностях, не контактирующих с нагревательной пластиной, имеют слой теплоизоляции толщиной не менее 1 см.

Сменные насадки для подогрева рекомендуется хранить при положительной температуре.

Для подогрева свариваемых концов трубы и муфты на дополнительном сварочном аппарате флажок регулятора температуры нагревательной пластины устанавливается на значения в интервале от 35 до 50 °С. Перед началом подогрева нагревательная пластина, с установленными сменными насадками для подогрева, разогревается на открытом воздухе не менее 5 минут до достижения температуры подогрева. При этом в пазы сменных насадок для подогрева вставляется отрезок полипропиленовой трубы и муфта.

Продолжительность подогрева и свободного охлаждения для выравнивания температур свариваемых концов труб в зависимости от температуры окружающего воздуха и температуры сменных насадок для подогрева для различных типоразмеров рассчитываются с помощью программы **PWH-Trumpet** – Программа для расчета продолжительности предварительного подогрева для сварки полипропиленовых труб в раструб в условиях низких температур (Заявка на государственную регистрацию программы на ЭВМ).

Сварка производится серийным сварочным аппаратом согласно СП 40-101-96, исключая изгиб трубы, стенки которого имеют температуру ниже минус 10°С.

При сварке полипропиленовых труб при температурах окружающего воздуха в диапазоне от 0 до минус 10°С рекомендуется повысить температуру нагревательной пластины на 5 градусов и в интервале от минус 10 до минус 50°С повысить температуру пластины на 10 °С от рекомендуемых нормативными документами при допустимых температурах ОВ.

Охлаждение сварного соединения производится под слоем теплоизоляции с толщиной, рассчитываемой в зависимости от свойств теплоизоляционного

материала и температуры окружающего воздуха программой Weld-Trumpet – Программа для определения толщины теплоизоляции при сварке полипропиленовых труб в раструб при низких температурах (Заявка на государственную регистрацию программы на ЭВМ).

Таким образом, при сварке в раструб полипропиленовых труб при температурах воздуха ниже нормативных к технологическим параметрам стандартной сварки (продолжительность нагрева, технологическая пауза, время охлаждения) добавляются следующие дополнительные технологические параметры – глубина паза сменной насадки для подогрева труб, продолжительность подогрева, продолжительность охлаждения для выравнивания температур, температура нагревательной пластины, толщина теплоизоляционного слоя.

При расчете продолжительностей подогрева и охлаждения (для выравнивания температур) считалось, что температура нагревательной пластины равна 35 °С. Такая температура определялась из условия обеспечения при подогреве и последующем охлаждении в стенке трубы (муфты) распределения температуры близкого к однородному распределению. При этом значение температуры после охлаждения должно быть в допустимом для сварки интервале. В то же время, поиски в продаже сварочного аппарата с возможностью установления значения температуры нагревательной пластины ниже 50°С не увенчались успехом. Поэтому за температуру нагревательной пластины бралась минимальная устанавливаемая в сварочном аппарате температура равная 50 °С. Соответственно, был произведен перерасчет продолжительностей подогрева и охлаждения. Расчетные продолжительности подогрева и охлаждения контролировались и корректировались регистрацией температур в стенках трубы и муфты при предварительном подогреве и сварке.

В качестве примера были приведены расчетные значения дополнительных технологических параметров для раструбной сварки полипропиленовых труб диаметром 63мм SDR 11 при температуре ОВ минус 40°С:

- глубина паза сменной насадки – 47 мм;
- продолжительность подогрева – 120 с;
- продолжительность охлаждения для выравнивания температур – 100с;
- температура нагревателя – 270°C;
- толщина слоя теплоизоляционного материала (вспененный полиэтилен) – 2 см.

Для полипропиленовых труб диаметром 110мм SDR 11 при температуре ОВ минус 40°C:

- глубина паза сменной насадки – 60 мм;
- продолжительность подогрева – 180 с;
- продолжительность охлаждения для выравнивания температур – 180с;
- температура нагревателя – 270°C;
- толщина слоя теплоизоляционного материала (вспененный полиэтилен) – 2 см.

Согласно расчетным технологическим параметрам проводилась сварка полипропиленовых труб диаметром 63 и 110 мм SDR 11 при различных низких температурах. На рисунках 2.31 -2.36 приведены основные этапы предлагаемого способа сварки. В скобках в качестве примера указаны параметры технологического режима сварки нагретым инструментом в раструб при температуре окружающего воздуха минус 30 °С. Труба и муфта устанавливаются на центратор (рис. 2,31.(а) слева). На рисунке 2.31(а) справа показан процесс разогрева сменных насадок с теплоизоляционным слоем. Для эффективности разогрева в паз насадки для подогрева вставлена муфта, а насадка для подогрева свариваемого участка трубы лежит пазами вниз на теплоизоляционном материале. Разогрев насадок для раструбной сварки происходит на открытом воздухе (рисунок 2.31(б)). Насадки и муфта, вставляемая в паз насадки, имели в начале разогрева комнатную температуру.



а)



б)

Рисунок 2.31 - Разогрев насадок: а) для предварительного подогрева; б) для оплавления (более 5 минут)

При подогреве (рисунок 2.32) с расчетной продолжительностью и последующем охлаждении на открытом воздухе (рисунок 2.33) температуры стенок трубы и муфты будут иметь значения из допустимого для сварки интервала. Поэтому продолжительность нагревания (оплавления) сменными насадками для сварки (рисунок 2.34) равна регламентированной нормативными документами и берется из таблицы для раструбной сварки в допустимом

интервале температур для данного типоразмера ПП трубы. После приведения трубы и муфты в контакт (рисунок 2.35) раструбное соединение охлаждается под слоем теплоизоляционного материала (рисунок 2.36) с расчетной толщиной, обеспечивающей допустимый темп охлаждения.

Наряду со сваркой при низких температурах по расчетным параметрам для сравнения проводилась сварка с явным нарушением технологического режима и стандартная сварка при допустимых температурах. Такой подход позволил в дальнейшем не только сравнить количественные показатели качества сварного соединения, но выявить недостатки существующих методов испытаний сварных соединений в раструб.



Рисунок 2.32 - Предварительный подогрев муфты и трубы с помощью насадок для предварительного подогрева (4 минуты)



Рисунок 2.33 - Свободное охлаждение муфты и трубы для выравнивания температур (2 минуты)



Рисунок 2.34 - Нагревание (оплавление) внутренней поверхности муфты и внешней поверхности трубы с помощью насадок для сварки



Рисунок 2.35 - Раструбное соединение полипропиленовой труба и муфты



Рисунок 2.36 - Охлаждение сварного раструбного соединения в теплоизоляционной камере при низких температурах (8 минут)

Выводы к главе 2

1. При допущениях, не ограничивающих практическое применение, предложена математическая модель, описывающая тепловой процесс предварительного подогрева свариваемых участков полипропиленовой трубы и муфты нагревательной пластиной сварочного аппарата со сменными насадками для подогрева.

2. Расчетами показана возможность получения практически однородного распределения температуры в стенках свариваемых участков труб и муфт путем нагрева с последующим свободным охлаждением для выравнивания температур.

3. Исследованием температурных полей сменных насадок нагревательного инструмента при низких температурах с помощью тепловизора показано, что перепад температур с основания до торца насадки составляет $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ и не меняется с изменением температуры окружающего воздуха.

4. На основе результатов исследования динамик температурных полей на рабочих поверхностях дорна и гильзы с помощью тепловизора разработана упрощенная математическая модель, описывающая тепловые процессы при нагреве, технологической паузе и охлаждении трубы и муфты в условиях низких температур, исключая моделирование тепловых процессов в сменных насадках.

5. Экспериментальными исследованиями изменения температурного поля при сварке в раструб полипропиленовых (ПП) труб при различных температурах окружающего воздуха (ОВ) показано, что при сварке в условиях низких температур необходимо управлять темпом охлаждения, чтобы сформировать в зоне сплавления структуру полипропилена, обеспечивающей необходимую прочность соединения.

6. Для расширения допустимых температур проведения сварки полипропиленовых труб предложен способ, заключающийся в предварительном подогреве свариваемого раструба муфты и конца трубы, на длину равную

где, до определенной температуры выше комнатной, свободном охлаждении для выравнивания температур на стенках до 20 - 25°C и сварке в штатном режиме с охлаждением сварного шва под теплоизоляцией.

7. Разработана методика и программа для расчета продолжительностей подогрева и свободного охлаждения для выравнивания температур, обеспечивающие в областях раструбной сварки распределение температуры из допустимого интервала температур ОВ.

8. Разработана методика расчетного определения технологических режимов сварки в раструб ПП труб при низких температурах ОВ с использованием программ для ЭВМ..

9. Расчетами с использованием программ показана возможность обеспечения изменения температурных полей сварки при низких температурах ОВ по закономерностям близким динамике температурных полей сварки при допустимых температурах ОВ.

Глава 3. Исследование структуры материала сварного соединения

3.1. Формирование структуры полимерных материалов при термической обработке

В процессе тепловой сварки структура материала в зоне сварного шва резко меняется за счет воздействия высокой температуры нагревателя и последующего охлаждения расплава. Процесс кристаллизации состоит из двух основных стадий-стадии формирования первичных зародышей и последующего роста кристаллов.

Согласно работе Г. М. Бартенева [8] механизм зародышеобразования в полимерах принципиально не отличается от механизма образования зародышей кристаллизации в низкомолекулярных веществах. Классическими работами в этой области долгое время считались работы Таммана. Тамман придерживался взглядов о возможности самопроизвольного зародышеобразования центров кристаллизации в переохлажденных жидкостях. Большой вклад в теорию зарождения кристаллов внесли работы Фольмера, который получил соотношение для работы образования стабильного кристаллического зародыша внутри переохлажденного расплава.

Физико-механические свойства материала во многом зависят от характера его надмолекулярной структуры. Формирование надмолекулярной структуры зависит от скорости охлаждения, т.е. если скорость охлаждения высокая, то зародышей кристаллизации образуется много и они не успевают разрастись до оптимальных размеров (мелкосферолитная структура), при низкой же скорости охлаждения наоборот, центров кристаллизации образуется мало и их размеры могут достигать сотен микрон (крупносферолитная структура).

В связи с вышесказанным появилась необходимость изучить структуру материала сварных раструбных соединений, выполненных при различных температурах ОВ и режимах. Для исследований надмолекулярной структуры материала сварных раструбных соединений, полученных по различным

технологическим режимам использовался электронный растровый микроскоп JEOL JSM-7800F.

3.2. Исследование надмолекулярной структуры материала сварных раструбных соединений полипропиленовых труб

Поверхность образцов для микроскопических исследований готовили методом травления. Травление проводили в парах кипящего толуола в течение 3 мин.

Для того чтобы убедиться в том, что пары кипящего толуола не меняют уже сформированную структуру образца, был проведен следующий эксперимент: в мерный стакан, $H=160$ мм, $\varnothing=80$ мм, $V=0.6$ л (рисунок 3.1), установили медь-константановые термопары, как показано на рисунке 3.1. Показания термопар регистрировались прибором «Термодат-25Е1». Налили толуол на высоту 10 мм накрыли стакан и поставили на электроплитку. После закипания толуола температура на различной высоте стакана была различна. Выравнивание температур по всей высоте стакана до 105°C произошло через 4 мин. после закипания толуола и выше температура не поднималась (рисунок 3.2).

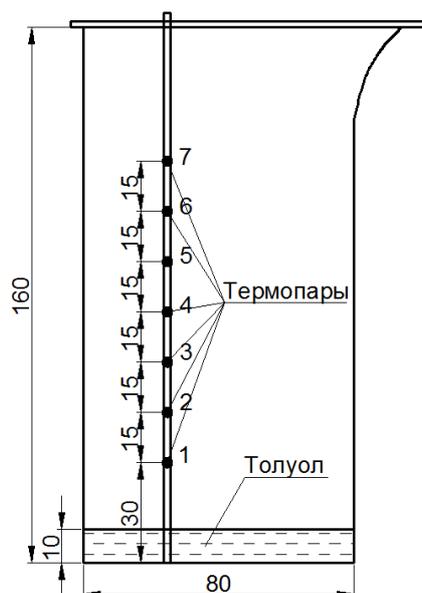


Рисунок 3.1 - Схема расположения термопар в мерном стакане

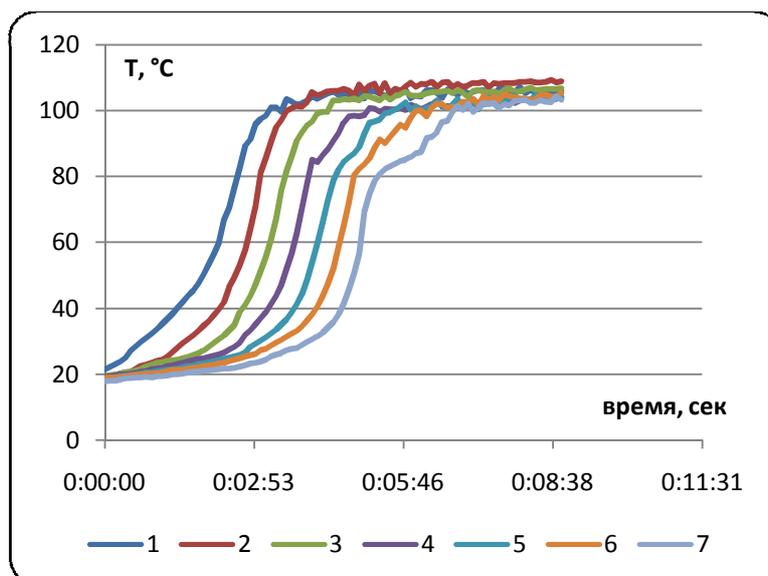


Рисунок 3.2 - Распределение температуры по высоте стакана для травления образцов при кипении толуола

Согласно данным исследования методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), минимальная температура начала плавления образцов из сополимера полипропилена «Рандом» (PPRC) составляет 125°C. Следовательно при травлении пары толуола не могут менять структуру образцов.

Из сварного раструбного соединения вырезался образец на всю длину сварного шва шириной 5-10 мм. Далее производился срез в районе середины сварного шва (рисунок 3.3.а). Срез производился с помощью лезвия, для максимально наименьшего повреждения плоскости среза. Травлению подвергалась плоскость среза (рисунок 3.3.б).

Перед травлением плоскость среза поочередно подвергалась обработке абразивными инструментами зернистостью 1000 и 3000 соответственно. Обработка абразивом проводилась в водной среде во избежание перегрева образца.

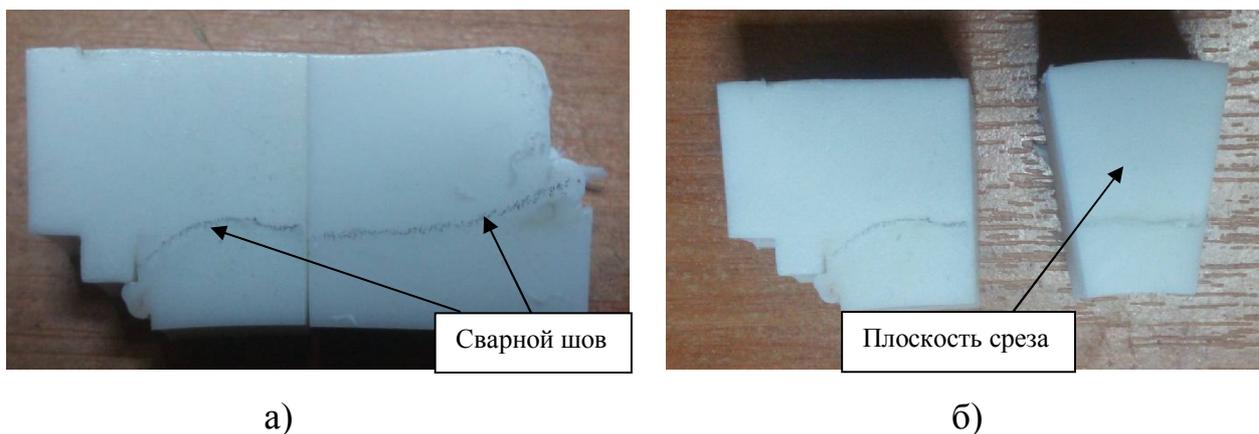


Рисунок 3.3 - Образец (а) и плоскость среза (б) для микроскопического исследования структуры материала сварного раструбного соединения полипропиленовых труб

Толуол в стакане для травления нагревался на электроплитке. После закипания и выравнивания температур (4 мин) в стакан помещались образцы сварных соединений полипропиленовых труб плоскостью среза вниз, на расстоянии 20 мм от поверхности толуола. Травление проводилось в течение 3 минут. По истечении этого времени образцы помещались в воду комнатной температуры.

В разрабатываемом Ассоциацией сварщиков полимерных материалов (АСПМ) национальном стандарте РФ «Сварка полимерных материалов Термины и определения» не совсем четко определены зоны сварного соединения. В связи с этим, микроскопическому исследованию подвергались семь условных зон сварного соединения (рисунок 3.4):

1. Область шва;
2. Участок вблизи шва трубы;
3. Участок вблизи шва муфты;
4. Зона термического влияния (ЗТВ) трубы;
5. ЗТВ муфты;
6. Основной материал трубы;
7. Основной материал муфты.

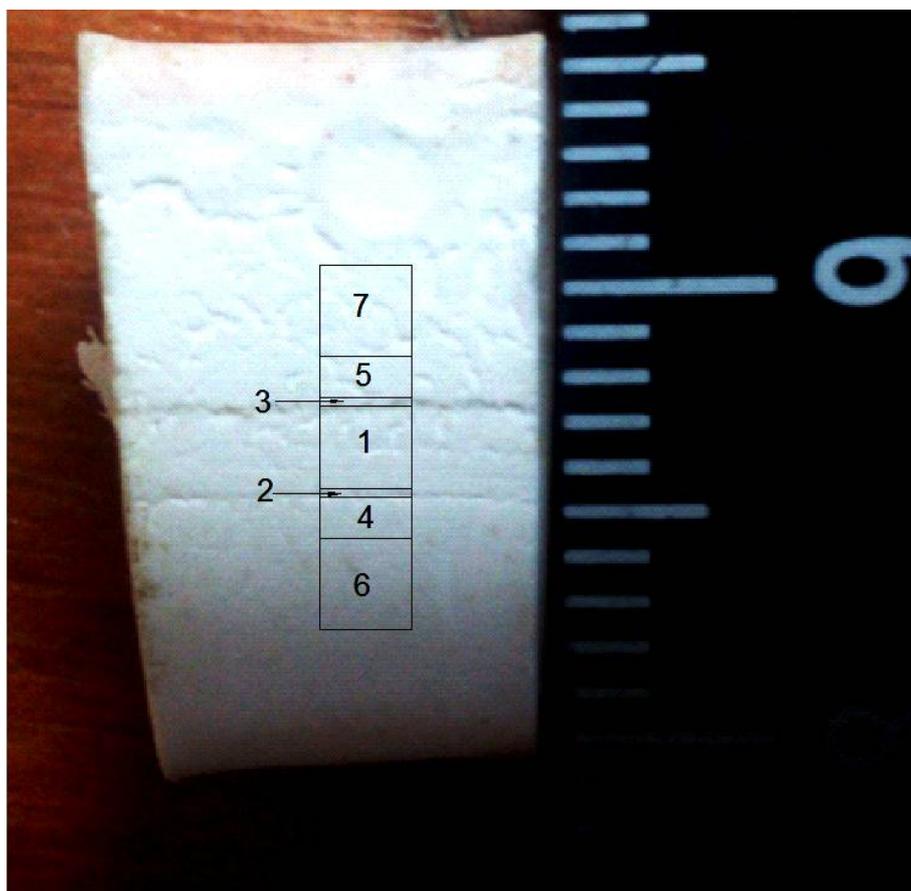


Рисунок 3.4 - Зоны сварного раструбного соединения полипропиленовых труб

На рисунке 3.5 представлена структура основного материала полипропиленовой трубы. Структура сферолитная, характеризуется плотно уложенными друг к другу сферолитами размером 4-5 мкм, в то время как структура основного материала муфты (рисунок 3.6) характеризуется наличием большого количества пор, а размеры сферолитов варьируются от 3 до 8 мкм. Такая разница в структуре объясняется разными способами производства труб и муфт (экструзия и литье под давлением), а следовательно и разными режимами кристаллизации.

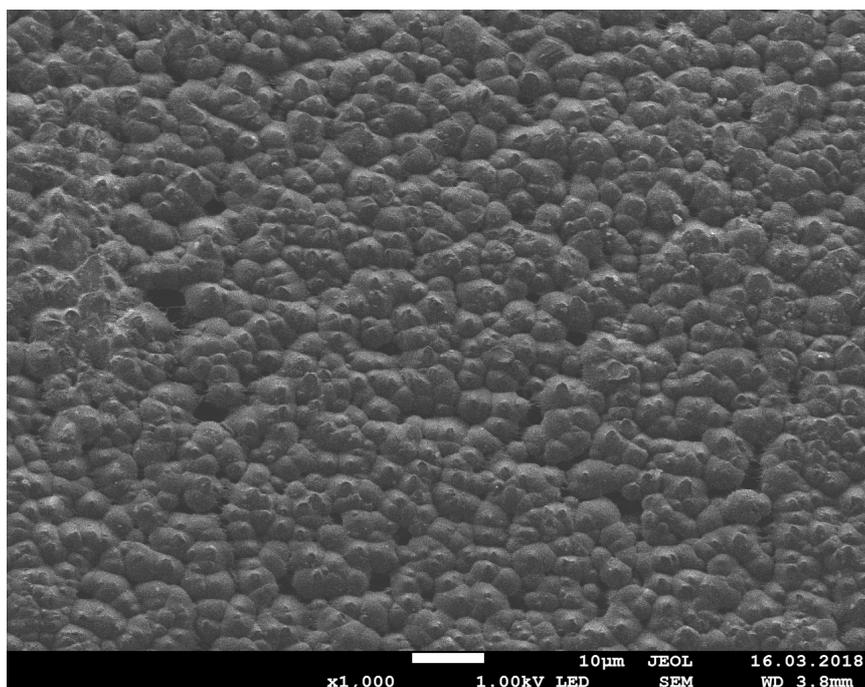


Рисунок 3.5 - Надмолекулярная структура основного материала трубы

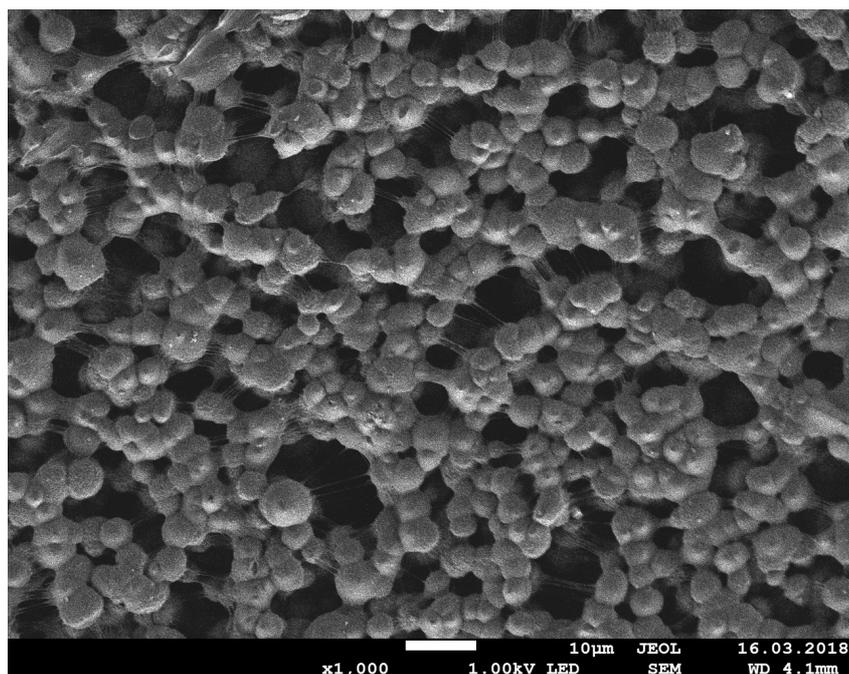


Рисунок 3.6 - Надмолекулярная структура основного материала муфты

Структура материала области шва (рисунок 3.7), участка вблизи шва (рис. 3.8) и ЗТВ муфты (рисунок 3.9), после сварки при температуре ОВ 18°C, практически идентичны и очень схожи со структурой основного материала

муфты, не подвергавшегося температурному воздействию сварочного процесса. Схожесть структур в этих зонах со структурой основного материала муфты объясняется, видимо, тем, что режим кристаллизации при сварке при температуре ОВ 18°C, близок к режиму кристаллизации при производстве муфты методом литья под давлением. Скорости остывания сварного шва $V_{105-100}=10^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$, $V_{100-90}=20^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$

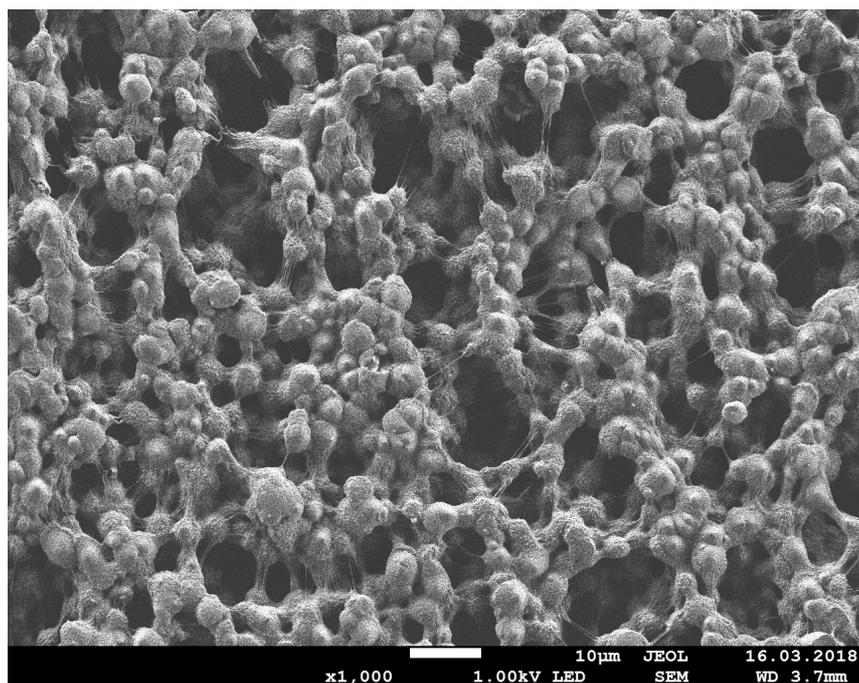


Рисунок 3.7 - Надмолекулярная структура области шва после сварки при температуре ОВ 18°C

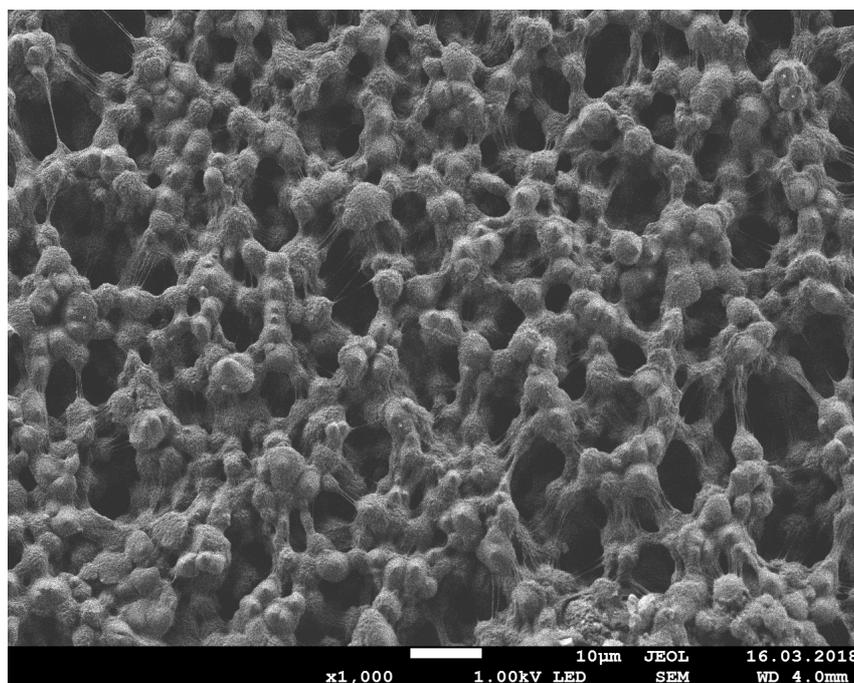


Рисунок 3.8 - Надмолекулярная структура участка вблизи шва стенки муфты после сварки при температуре ОВ 18°С

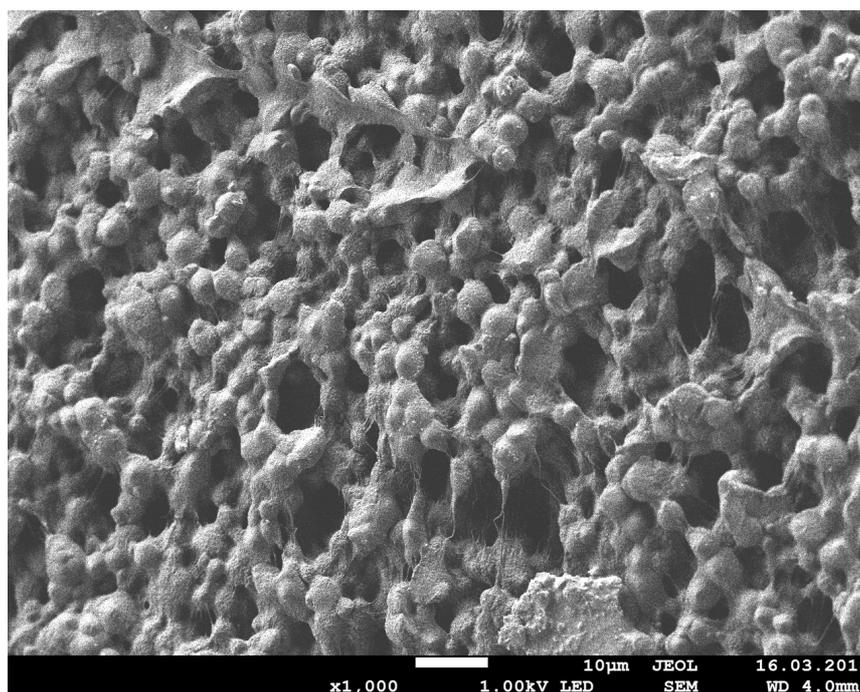


Рисунок 3.9 - Надмолекулярная структура ЗТВ стенки муфты после сварки при температуре ОВ 18°С

На рисунке 3.10 представлена структура материала ЗТВ трубы после сварки при температуре ОВ 18°С. Как мы видим, вследствие температурных воздействий сварочного процесса структура изменилась по сравнению со структурой

основного материала трубы. сферолиты уложены не так плотно как в структуре основного материала трубы, появились поры, однако размеры сферолитов остались прежними. Структура ЗТВ трубы внешне ближе к структуре основного материала трубы, а не сварного шва. Это свидетельствует о том, что в этой зоне структура изменилась частично, вероятно сработала структурная память. Похожую структуру материала мы наблюдаем и в участке вблизи шва трубы (рисунок 3.11). В этой зоне изменения структуры также частичны, а значит наибольшим структурным изменениям подвергается материал в зоне сварного шва.

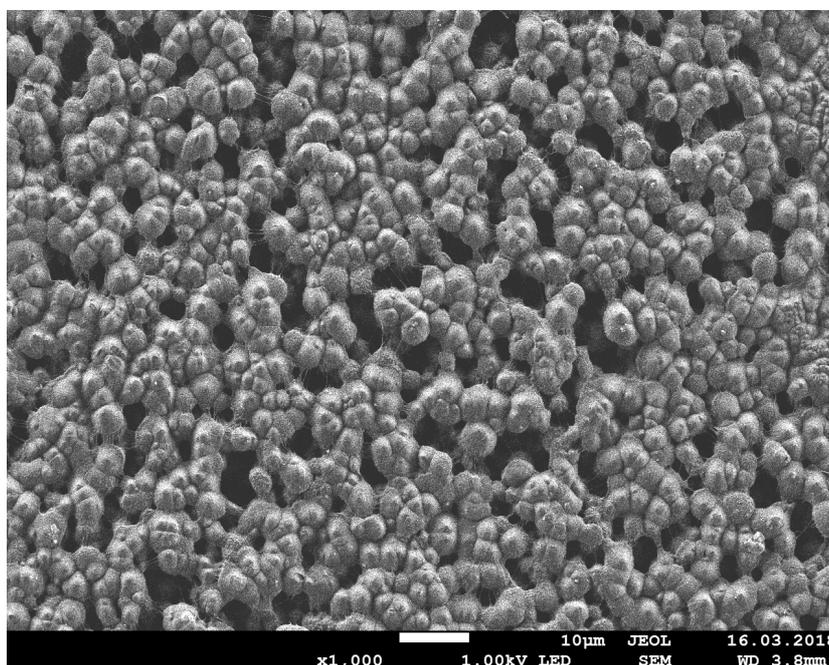


Рисунок 3.10 - Надмолекулярная структура ЗТВ стенки трубы после сварки при температуре ОВ 18°C

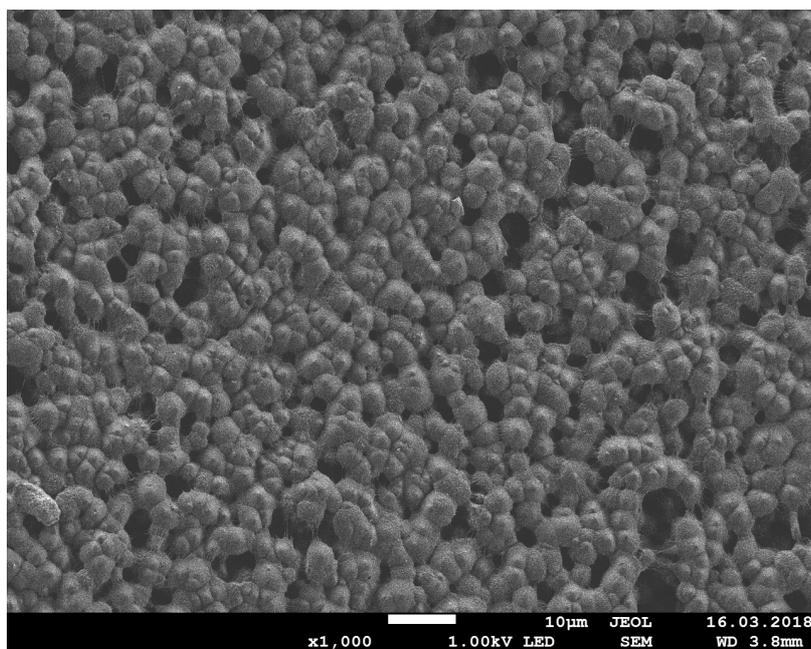


Рисунок 3.11 - Надмолекулярная структура участка вблизи шва стенки трубы после сварки при температуре ОВ 18°C

Далее рассмотрим структуру сварного соединения, выполненного при температуре ОВ 1°C (нижняя граница допустимых для сварки полипропиленовых труб температур). На рисунке 3.12 представлена микрофотография стенки трубы на расстоянии 2 мм от оси сварного шва, зоны где при нормальных условиях должна быть ЗТВ. Но как видно из снимка структура не изменилась, т.е. осталась структурой основного материала трубы. Вероятно из-за низкой температуры ОВ, а следовательно и температуры свариваемых деталей, граница ЗТВ сместилась в сторону сварного шва.

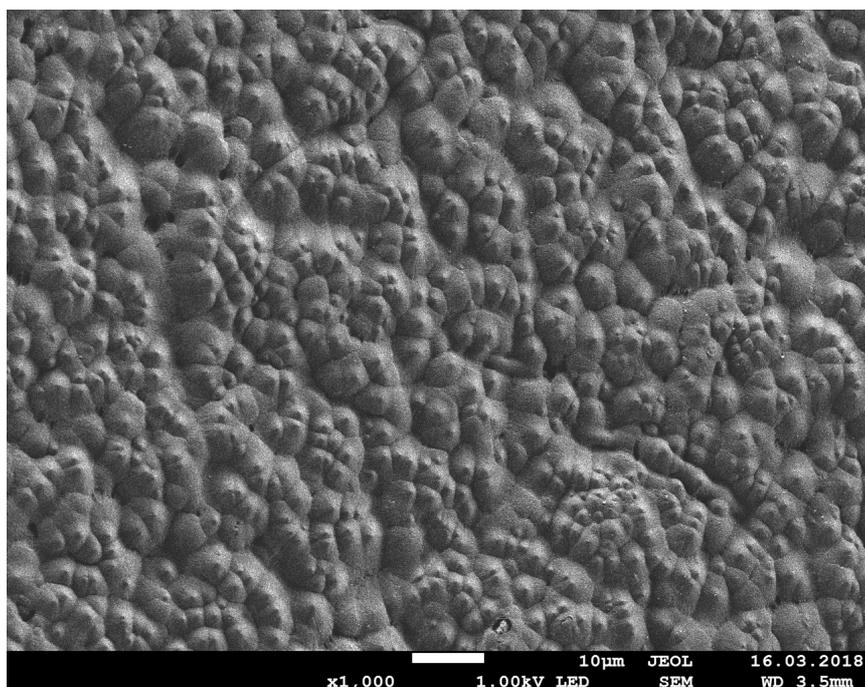


Рисунок 3.12 - Надмолекулярная структура материала трубы на расстоянии 2мм от оси сварного шва после сварки при температуре ОВ 1°С

В ЗТВ стенки трубы мы видим уже фибриллярно- сфералитную структуру (рисунок 3.13). Согласно [58, 101] если на стадии образования лент, пластин или фибрилл кристаллизация не прекращается, для снятия внутренних напряжений, обусловленных наличием слишком большой поверхности структурных элементов, происходит их перестроение в сферолиты – сферолитную структуру. Следовательно, в зависимости от условий кристаллизации, может образоваться множество различных структур, крайними типами которых будут сферолитная и фибриллярная.

Видимо, из-за повышенной скорости остывания ($V_{105-100}=40$, $V_{100-90}=30$ °С/мин) часть фибрилл не успела перестроиться в сферолиты до того, как температура опустилась ниже температуры кристаллизации (рисунок 3.13).

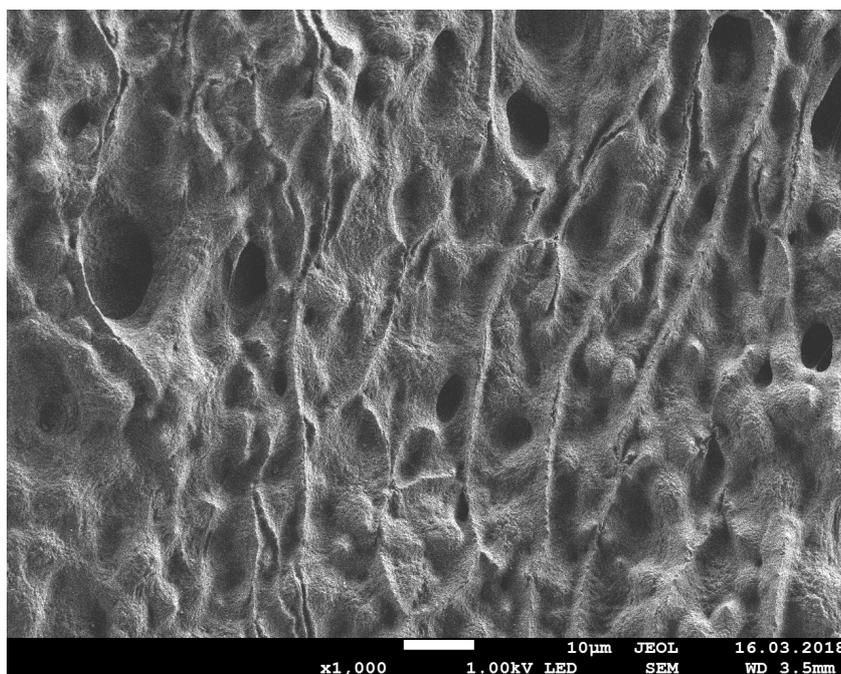


Рисунок 3.13 - Надмолекулярная структура ЗТВ трубы после сварки при температуре ОВ 1°C

Аналогичную картину мы видим и в участке вблизи шва стенок трубы и муфты (рисунки 3.14 -3.15)

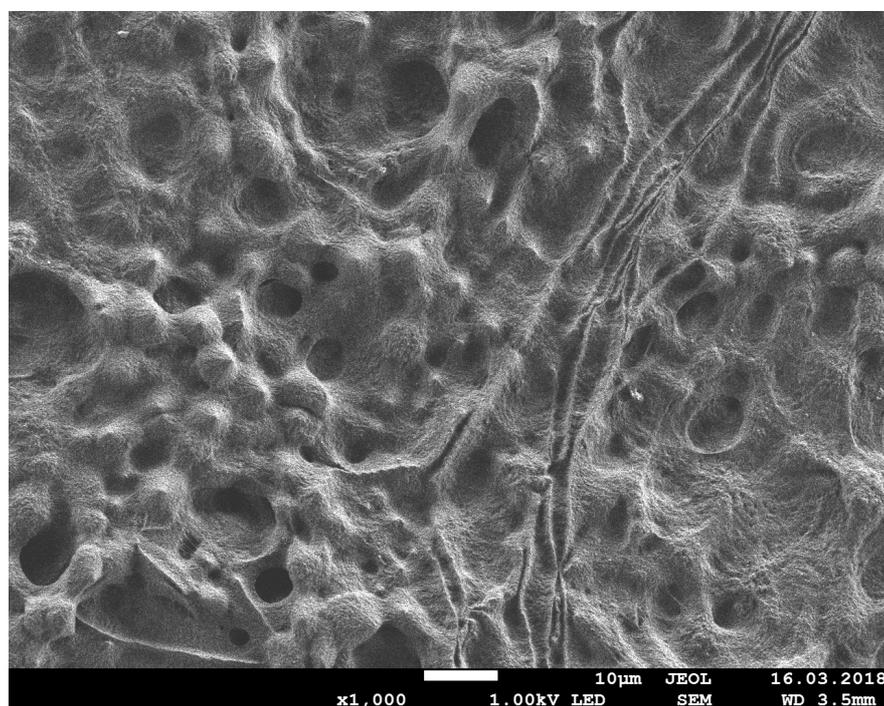


Рисунок 3.14 - Надмолекулярная структура участка вблизи шва стенки трубы после сварки при температуре ОВ 1°C

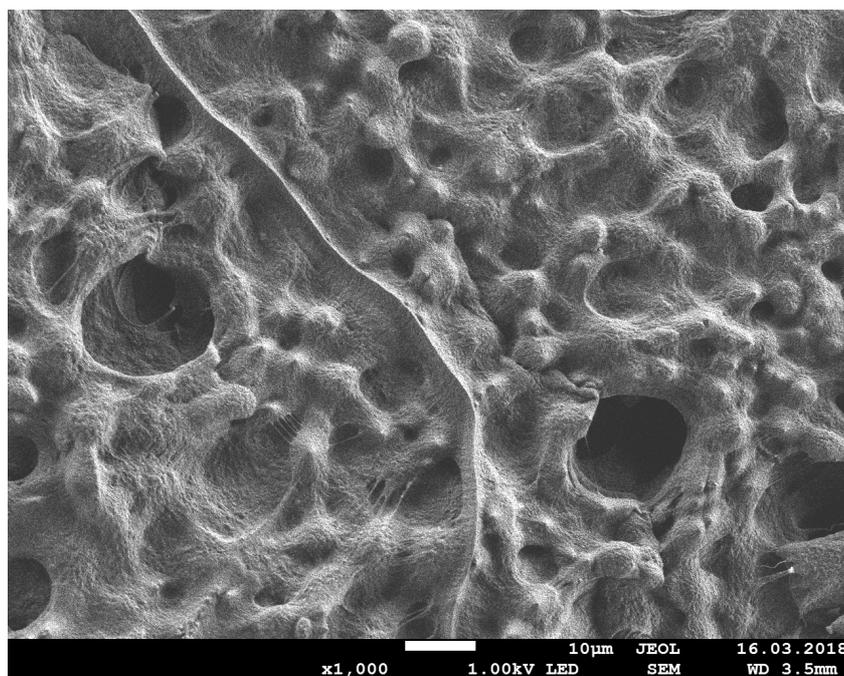


Рисунок 3.15 - Надмолекулярная структура участка вблизи шва стенки муфты после сварки при температуре ОВ 1°С

В области шва структура материала остается сферолитной и очень схожа со структурой основного материала трубы – плотно уложенные друг к другу сферолиты размером 4-5 мкм (рисунок 3.16). Возможно это объясняется тем, что режим кристаллизации в области шва при сварке при температуре ОВ 1°С схож с режимом кристаллизации при производстве труб методом экструзии. Скорость остывания сварного соединения при температуре ОВ 1°С выше чем при 23°С, но и при экструзии труб их также искусственно охлаждают водой, что увеличивает скорость охлаждения.

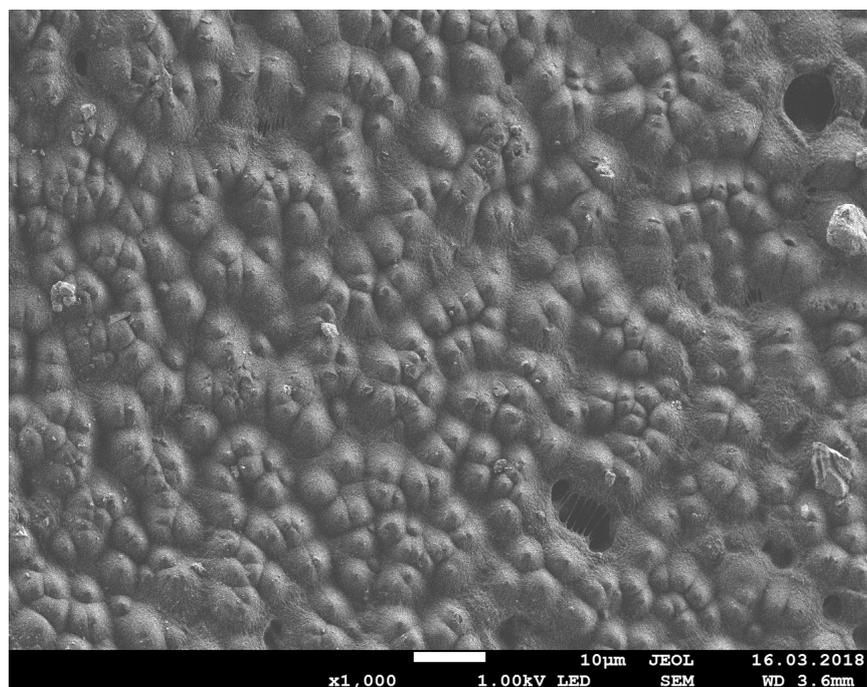


Рисунок 3.16 - Надмолекулярная структура области шва после сварки при температуре ОВ 1°C

Переходим к структуре материала сварных соединений, выполненных при отрицательных температурах ОВ.

На рисунке 3.17 представлена микрофотография структуры материала ЗТВ стенки трубы после сварки при температуре ОВ минус 30°C.

Как видно из снимка, структура в этой зоне практически полностью фибриллярная. Из-за высокой скорости остывания расплава ($V_{105-100}=75-60^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$, $V_{100-90}=30^{\circ}\text{C}/\text{мин.}$), видимо, фибриллы не успели перестроиться в сферолиты.

В участке вблизи шва стенки трубы уже наблюдается фибриллярно-сферолитная структура, но с гораздо большим процентом фибрилл, чем в материале сварного соединения выполненного при температуре ОВ 1°C (рисунок 3.18).

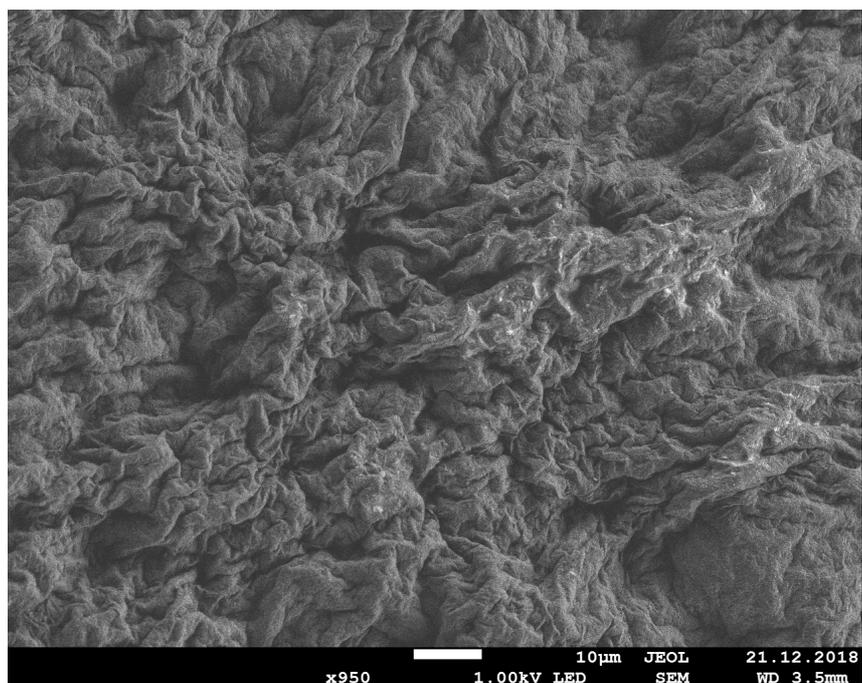


Рисунок 3.17 - Надмолекулярная структура ЗТВ стенки трубы после сварки при температуре ОВ минус 30°C

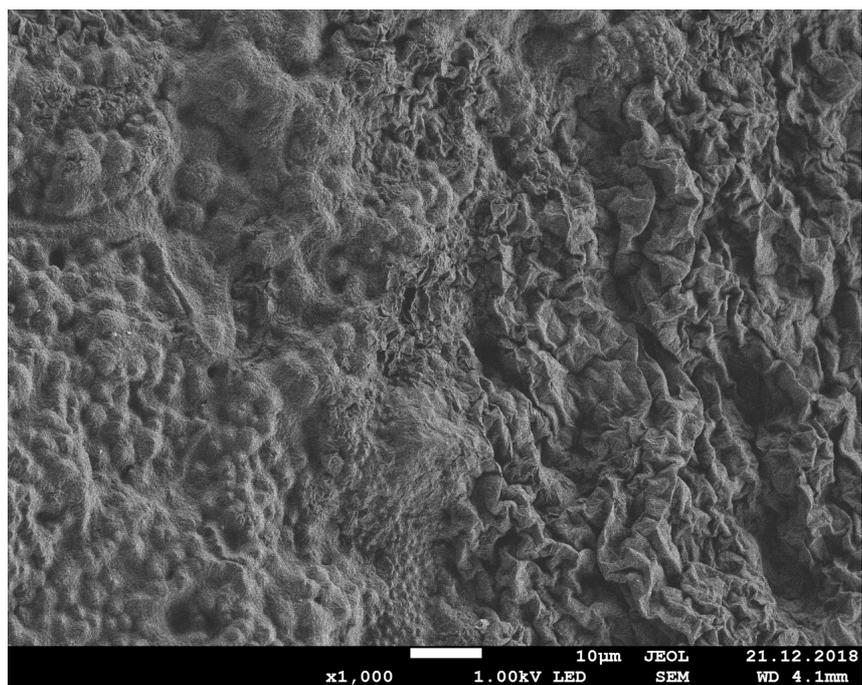


Рисунок 3.18 - Надмолекулярная структура участка вблизи шва стенки трубы после сварки при температуре ОВ минус 30°C

Аналогичная структура наблюдается и в участке вблизи шва и в ЗТВ стенки муфты (рисунки 3.19, 3.20).

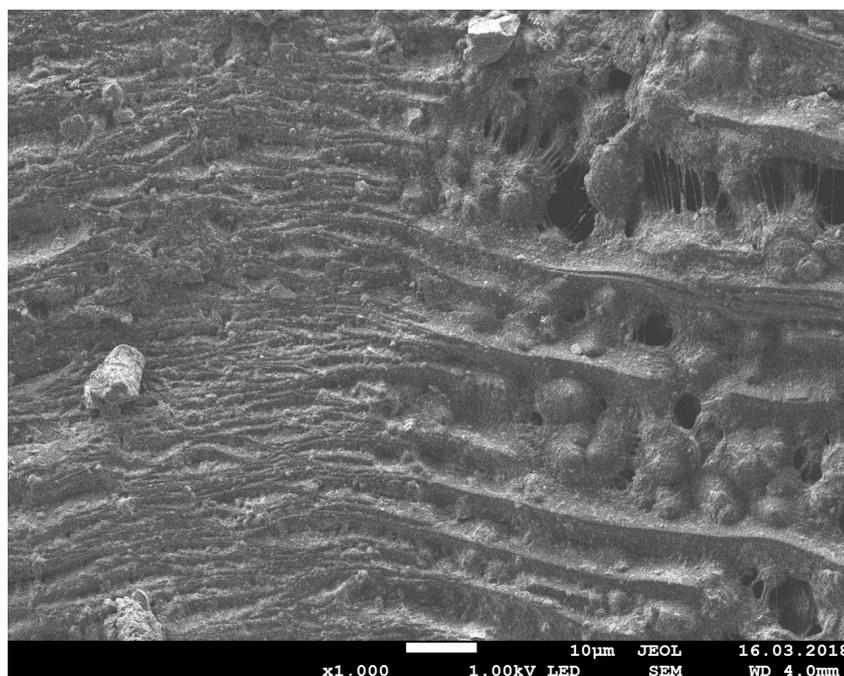


Рисунок 3.19 - Надмолекулярная структура участка вблизи шва стенки муфты после сварки при температуре ОВ минус 30°C

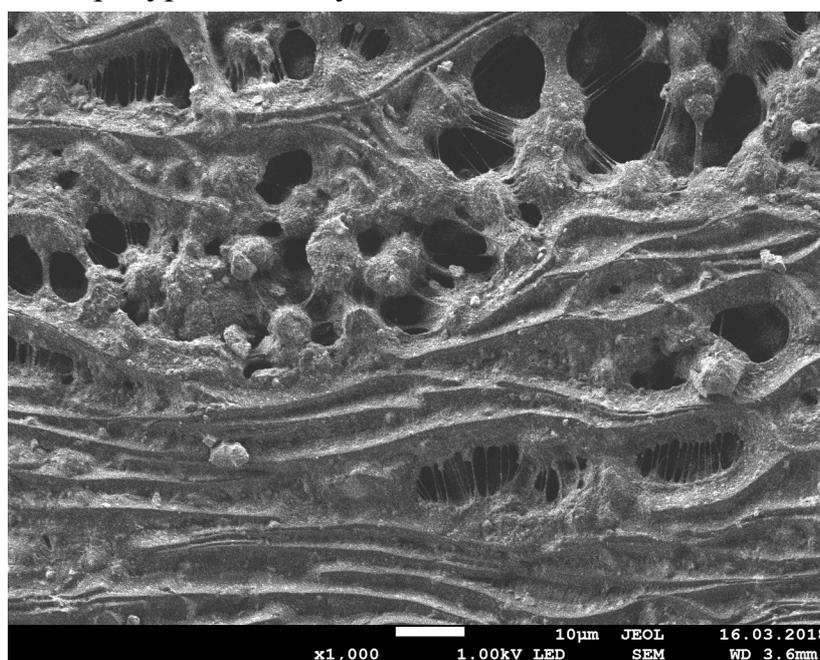
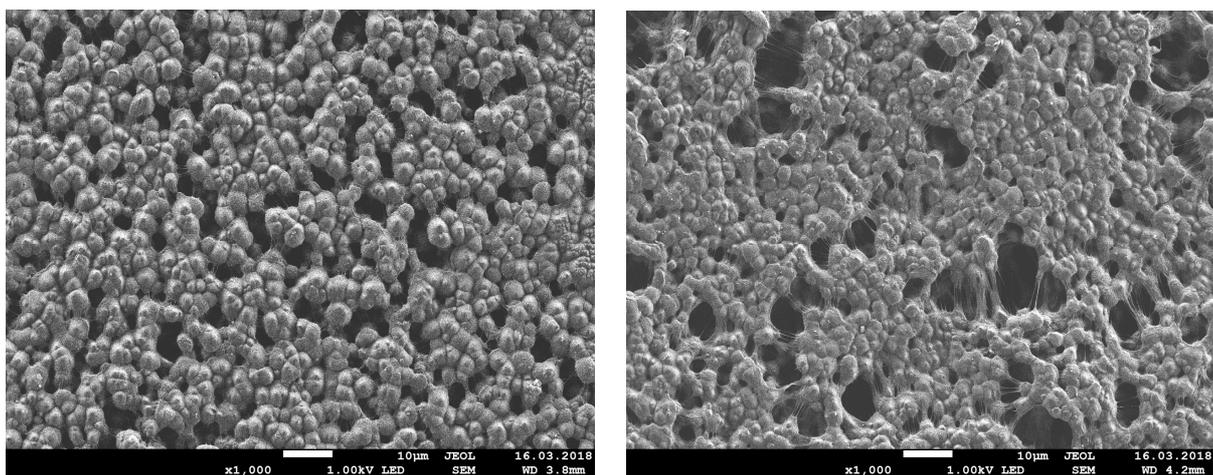


Рисунок 3.20 - Надмолекулярная структура ЗТВ стенки муфты после сварки при температуре ОВ минус 30°C

Рассмотрим структуру материала сварного соединения выполненного при температуре ОВ минус 30°C с предварительным подогревом и остыванием в теплоизоляционной камере.

На рисунке 3.21 представлена микрофотография ЗТВ стенки трубы после сварки при температуре ОВ 23°C (а) и микрофотография ЗТВ стенки трубы после

сварки при температуре ОВ минус 30°С с предварительным подогревом и остыванием в теплоизоляционной камере (б). Как видно из снимков, структуры ЗТВ стенки трубы при этих двух режимах сварки практически идентичны. Размеры сферолитов и плотность их укладки сопоставимы на этих двух микрофотографиях.

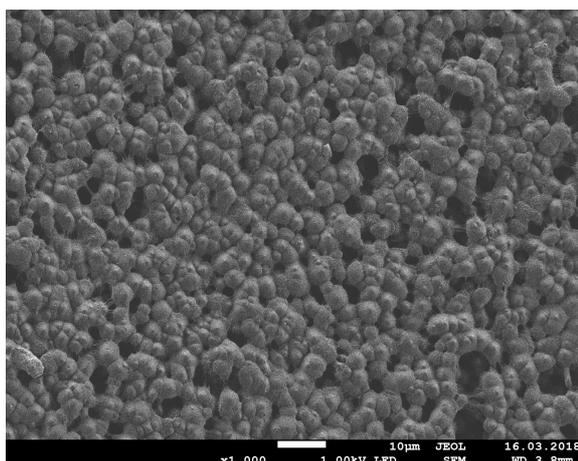


а)

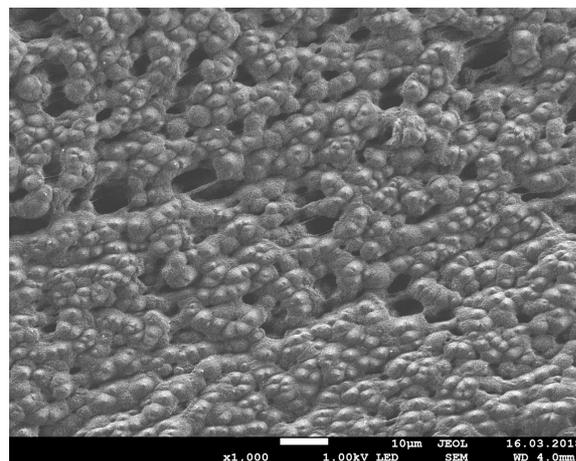
б)

Рисунок 3.21 - Надмолекулярная структура ЗТВ стенки трубы: а) после сварки при температуре ОВ 18°С, б) после сварки при температуре ОВ минус 30°С с предварительным подогревом и остыванием в теплоизоляционной камере

Похожая картина наблюдается и в участке вблизи шва стенки трубы сварных раструбных соединений полипропиленовых труб, выполненных при температуре ОВ 18°С и минус 30°С, но по разработанной технологии (предварительный подогрев, остывание в теплоизоляционной камере). В этих зонах структуры также практически идентичны (рисунок 3.22).



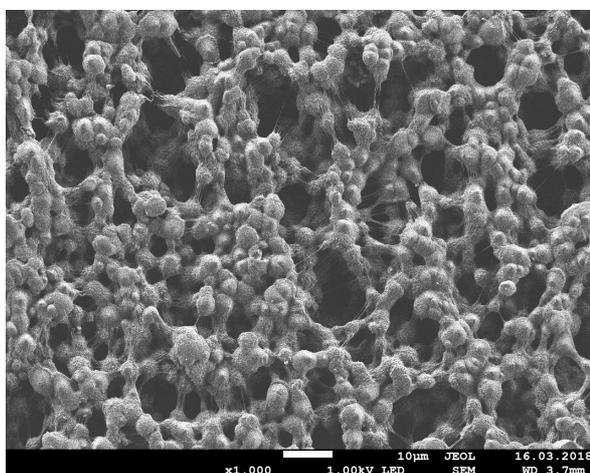
а)



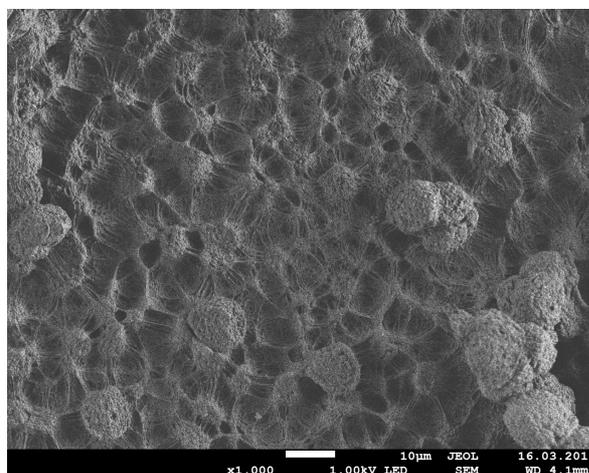
б)

Рисунок 3.22 - Надмолекулярная структура участка вблизи шва стенки трубы: а) после сварки при температуре ОВ 18°C, б) после сварки при температуре ОВ минус 30°C с предварительным подогревом и остыванием в теплоизоляционной камере

В области шва структуры немного отличаются. В зоне сварного шва после сварки при температуре ОВ минус 30°C с предварительным подогревом и остыванием в теплоизоляционной камере, размеры сферолитов больше (рисунок 3.23.б), чем в той же зоне при сварке при 18°C (рисунок 3.23.а).



а)



б)

Рисунок 3.23 - Надмолекулярная структура области шва: а) после сварки при температуре ОВ 18°C, б) после сварки при температуре ОВ минус 30°C с предварительным подогревом и остыванием в теплоизоляционной камере

По всей видимости скорость остывания сварного соединения при минус 30°C в теплоизоляционной камере была ниже, чем при температуре ОВ 18°C, процесс

кристаллизации проходил дольше, что и дало возможность сферолитам вырасти до больших размеров.

В ЗТВ стенки муфты структуры материала сварных соединений выполненных при температуре ОВ 18°C (рисунок 3.24.а) и при минус 30°C по разработанной технологии (рисунок 3.24. б) очень схожи, структура сферолитная, пористая, размеры сферолитов 3-5 мкм.

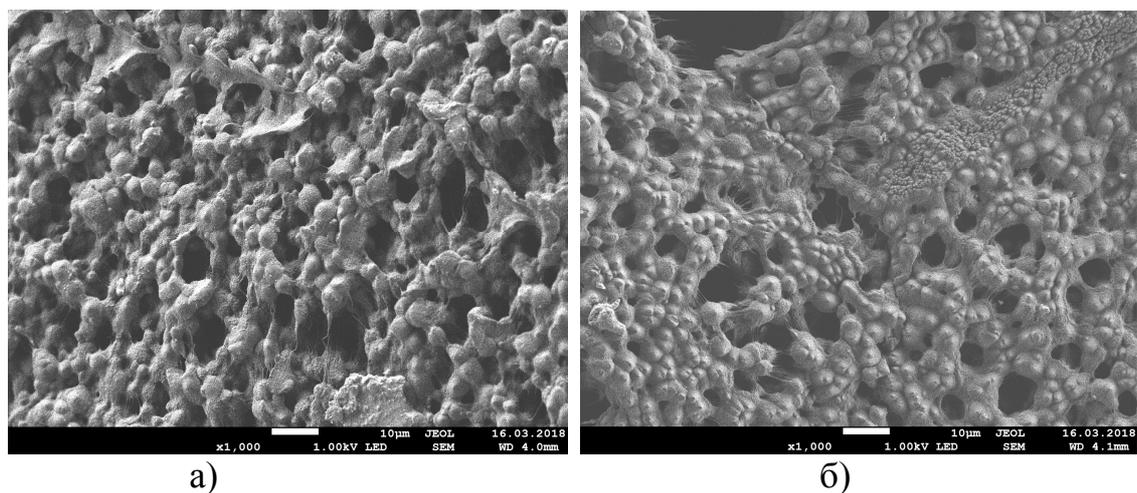


Рисунок 3.24 - Надмолекулярная структура ЗТВ стенки муфты: а) после сварки при температуре ОВ 18°C, б) после сварки при температуре ОВ минус 30°C с предварительным подогревом и остыванием в теплоизоляционной камере.

При сварке нагретым инструментом в раструб наружная поверхность трубы и внутренняя поверхность муфты при нагреве подвергаются воздействию температуры оплавления сварочного оборудования равной 260 °С. При этом «тепловые предистории» и структуры оплавляемых поверхностей как бы аннулируются. Важным становится фактор скорости остывания расплава. На рисунках 3.5 и 3.6 приведены соответственно надмолекулярные структуры трубы и муфты. Отличие структур объясняется различием способов изготовления: трубы – экструзией, муфты – литьем под давлением. Образование области сварного соединения полимерных труб в раструб по характеру близко к процессу изготовления муфты. Расплав заключён между трубой и муфтой, с краев расплав под действием окружающего воздуха остывает намного быстрее, поэтому основная масса расплава при сварке в раструб заключена в замкнутом объеме, в котором непосредственное влияние температуры окружающего воздуха меньше,

чем в периферийных зонах, а значит и скорости остывания расплава не так сильно отличаются. На рисунках 3.9, 3.15 и 3.22 приведены фотографии структуры зон сварного шва при увеличении в 1000 раз. Действительно, независимо от того, при каком режиме они сварены, надмолекулярные структуры сферолитные, без наличия фибрилл. Наибольшее различие структур проявляется в околошовной зоне и зоне термического влияния. В указанных зонах из-за кондуктивного теплоотвода скорости остывания расплавов будут сильно отличаться, что в свою очередь приводит к различным структурным образованиям. Несмотря на то, что производство сварки ПП труб по нормативным документам разрешено при положительных температурах сварка уже при 1 °С приводит к формированию в участке вблизи шва фибриллярно- сферолитной структуры (рисунки 3.14, 3.15). При сварке при минус 30 °С – формируется фибриллярная структура в участке вблизи шва и ЗТВ (рисунки 3.17-3.20). Применение предварительного подогрева и остывания в теплоизоляционной камере во время сварки при отрицательных температурах приводит к формированию сферолитной структуры материала в участке вблизи шва и ЗТВ структуры, близкой к структуре материала сварного соединения, выполненного при температуре ОВ 18°С (рисунки 3.21-3.24). Данный факт объясняется близкой скоростью образования структуры околошовной зоны и зоны термического влияния области сварки ПП труб при отрицательных температурах окружающего воздуха по разработанной нами технологии сварки.

Таким образом:

- надмолекулярная структура области шва сварного соединения пропиленовых труб в раструб однородна, независимо от того, при каком режиме они сварены;
- в процессе сварки ПП труб при отрицательных температурах окружающего воздуха наибольшим изменениям подвергается не область шва, а участок вблизи шва или зона термического влияния;
- самой низкой прочностью, видимо, будет обладать участок вблизи шва или зона термического влияния.

3.3. Исследование материалов зон сварных соединений методом дифференциальной сканирующей калориметрии

Метод дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) применяют для исследования разных явлений и определения различных свойств, связанных с указанными материалами, а именно:

- физических превращений [стеклование, фазовые переходы (например, плавление и кристаллизация), полиморфные превращения и т. д.];
- химических реакций (полимеризация, сшивка и отверждение эластомеров и термореактивных материалов и т. д.);
- термоокислительной стабильности;
- теплоемкости (применяют конкретные стандарты, устанавливающие методы соответствующих испытаний).

ДСК - это метод, в котором разность тепловых потоков, подведенных к тиглю с испытуемым образцом и эталонному тиглю, измеряется как функция температуры и/или времени в процессе воздействия на испытуемый и эталонный образцы управляемой температурной программы в установленной атмосфере и при использовании симметричной измерительной системы

Используют два типа приборов ДСК: ДСК по тепловому потоку и ДСК с компенсацией мощности. Наши испытания проводились по методу ДСК с компенсацией мощности.

В ДСК с компенсацией мощности используют индивидуальные нагреватели для испытуемого образца и эталонного тигля или эталонного образца. Разность мощности, требуемой для поддержания одинаковой температуры испытуемого образца и эталонного тигля или эталонного образца, регистрируют в зависимости от времени, причем испытуемый образец и эталонный тигель или эталонный образец подвергают воздействию одной и той же температурной программы.

Экспериментальные кривые представляют собой зависимости теплового потока (в мДж/с) или удельной теплоемкости C_p (Дж/г·К) от температуры.

Исследования проводились на приборе «NETZSCH DSC 204 F1 PHOENIX», использовались алюминиевые тигли. Газ для продувки — азот чистотой не менее 99,99 % по ГОСТ 9293, используемый для того, чтобы не допустить окислительной или гидролитической деструкции образца в процессе испытания.

С помощью ДСК удается определять:

– истинные температуры плавления полимера и равновесные температуры плавления полимерных кристаллов;

– истинные интервалы плавления;

– энтальпии плавления частично кристаллических полимеров, полимерных кристаллов и на этой основе – степень кристалличности [8].

В то же время, так как процесс образования кристаллической структуры многоступенчатый, нельзя утверждать, что степень кристалличности является полной характеристикой глубины кристаллизации полипропилена [40].

Тем не менее, для сравнительных целей было проведено ДСК исследование образцов, выбранных из сварных соединений, выполненных при различных режимах сварки.

Для проведения исследования образцы были взяты из семи зон сварных соединений, описанных в параграфе 3.3, сваренных при различных условиях. Образцы вырезались тонким лезвием и представляли собой таблетки толщиной около 0,5 мм массой $10 \text{ мг} \pm 0,2 \text{ мг}$. Перед измерениями испытуемые образцы кондиционировались в соответствии с нормативным документом на материал.

Тигель для испытуемого образца взвешивался с крышкой, результат взвешивания (мг) записывался с точностью до второго десятичного знака. Испытуемый образец помещался в тигель для образца. Взвешивался тигель с образцом и по разности масс тигля с образцом и пустого тигля, вычислялась масса образца.

Первое исследование провели с целью определить температуру стеклования. Образец остудили до минус 50°C затем нагревали со скоростью 10 К/мин. Результаты исследования показывают, что стеклование сополимера полипропилена «Рандом» из которого сделаны трубы и муфты, происходит в интервале минус 19°C – минус 5°C (рисунок 3.25). Это объясняет запрет нормативными документами транспортирование полипропиленовых труб при температуре ОВ ниже минус 10°C.

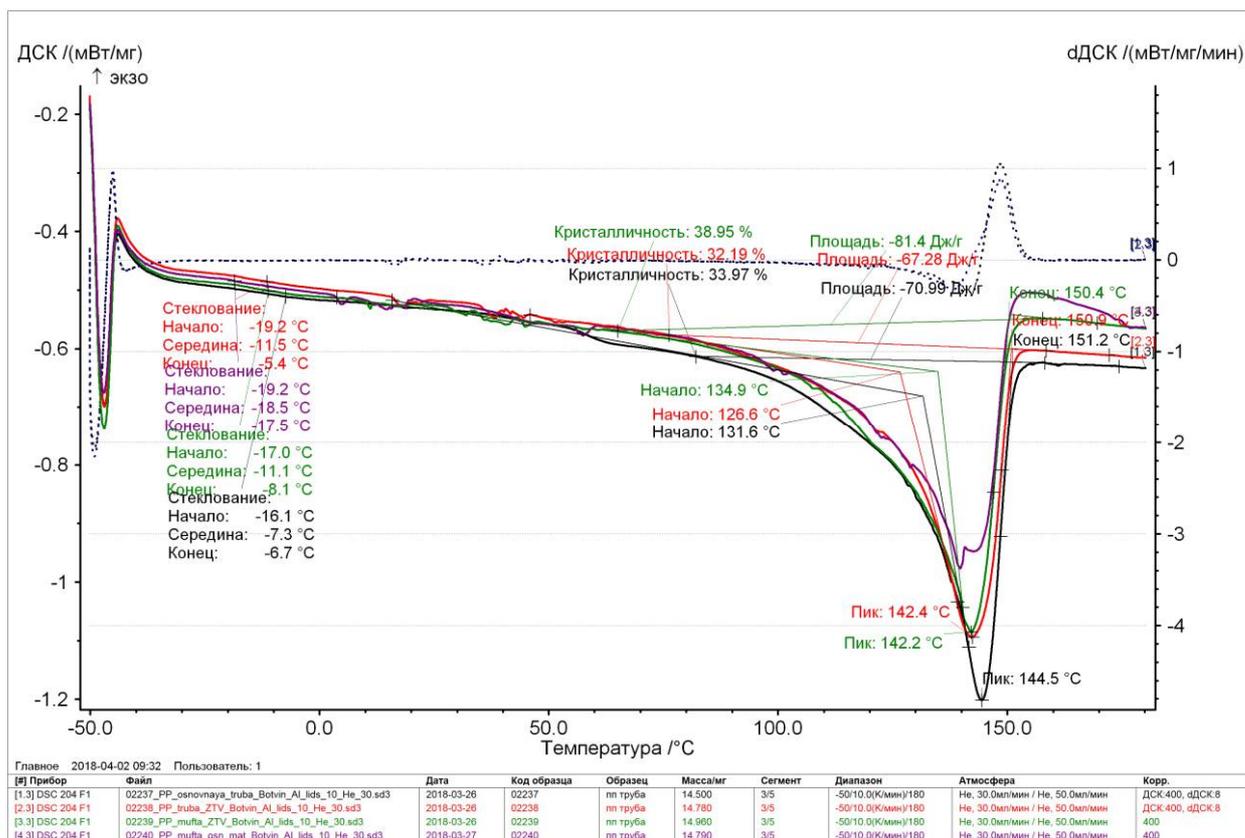


Рисунок 3.25 - Термограмма ДСК основного материала трубы и муфты по определению температуры стеклования

Далее мы исследовали процесс кристаллизации полипропилена с целью определения истинных температур кристаллизации материала из которого производятся полипропиленовые трубы и фитинги (рисунок 3.26).

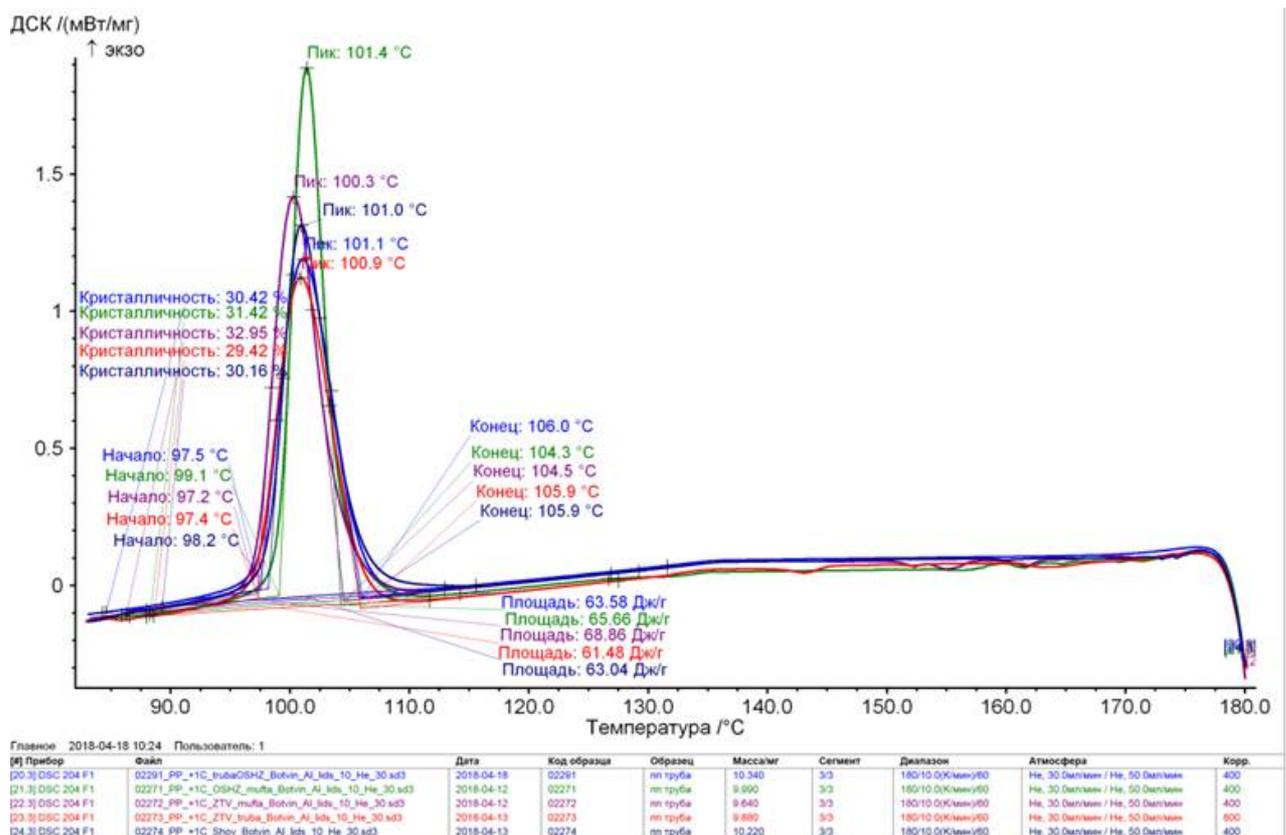


Рисунок 3.26 - Термограмма ДСК процесса кристаллизации статистического сополимера полипропилена «Рандом»

Исходя из термограмм ДСК и расчетных временных зависимостей температур в сварном шве можно сделать вывод, что наиболее интенсивная кристаллизация происходит в интервале температур 105-100°C, так как именно в этом интервале максимально снижается скорость остывания (рисунок 3.27), а значит происходит интенсивное выделение тепла. При 90°C кристаллизация заканчивается.

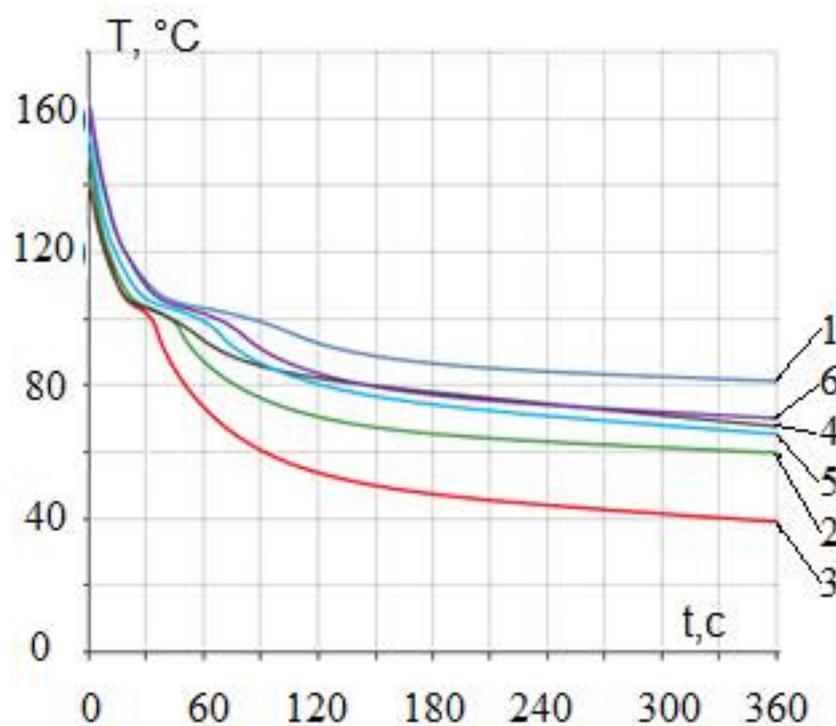


Рисунок 3.27 - Временные зависимости температур в сварном шве

Исследованию методом ДСК подвергались образцы, взятые из пяти условных зон (область шва, участок трубы вблизи шва, участок муфты вблизи шва, ЗТВ трубы, ЗТВ муфты) сварных соединений, выполненных при температуре ОВ: 23°C, 1°C, минус 30°C и минус 30°C с предварительным подогревом и остыванием сварного соединения в теплоизоляционной камере.

Энтальпии плавления, а значит и процент кристалличности материала различных зон сварных соединений, выполненных при разных режимах сварки, как правило, снижаются на 5-7% по сравнению с основным материалом трубы, и незначительно отличаются друг от друга (рисунок 3.28). Из этого можно сделать вывод, что при сварке полипропиленовых труб, независимо от её режима, процент кристаллической фазы меняется незначительно, меняется структура, форма и размеры кристаллитов.

Ввиду того, что температура начала и конца плавления у различных по структуре, форме и размерам кристаллитов отличаются [30], то ширина интервала температур фазового превращения характеризует разброс размеров кристаллитов

материала. Меньшие ширины интервалов фазового превращения свойственны материалам с близкими размерами кристаллитов.

На рисунке 3.29 представлена гистограмма ширин интервалов температур фазового превращения ΔT материалов зон сварных соединений полипропиленовых труб. Из гистограммы видно, что закономерности изменения ширин интервалов температур фазового превращения по зонам сварных соединений, выполненных при 23°C и минус 30°C по разработанной технологии близки друг другу, что еще раз подтверждает схожесть их структур.

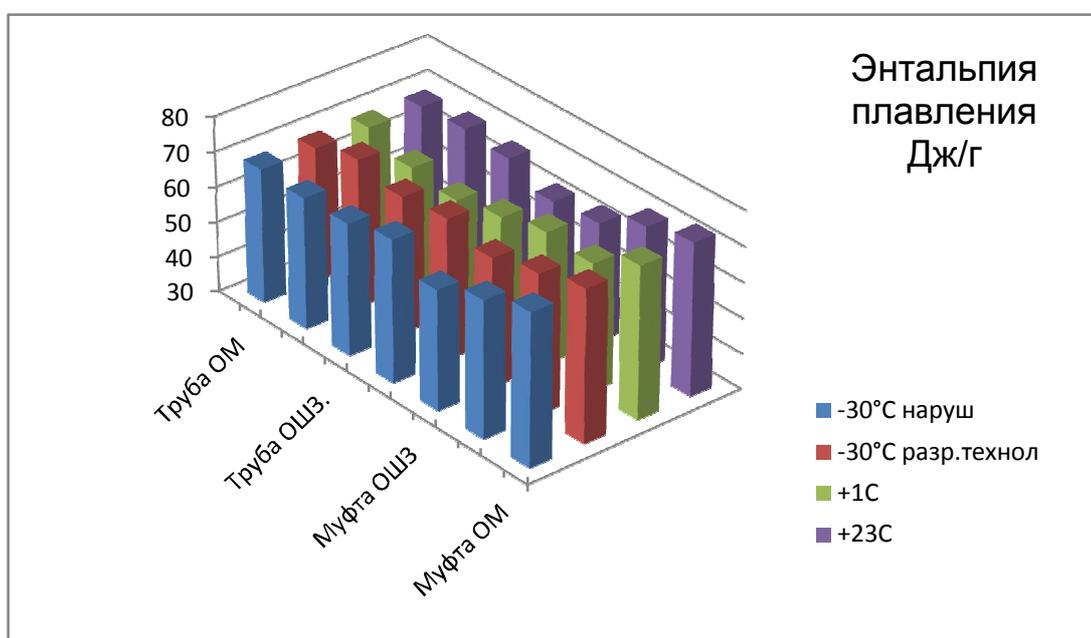


Рисунок 3.28 - Гистограмма энтальпий плавления зон сварных раструбных соединений полипропиленовых труб, выполненных при различных температурах ОВ

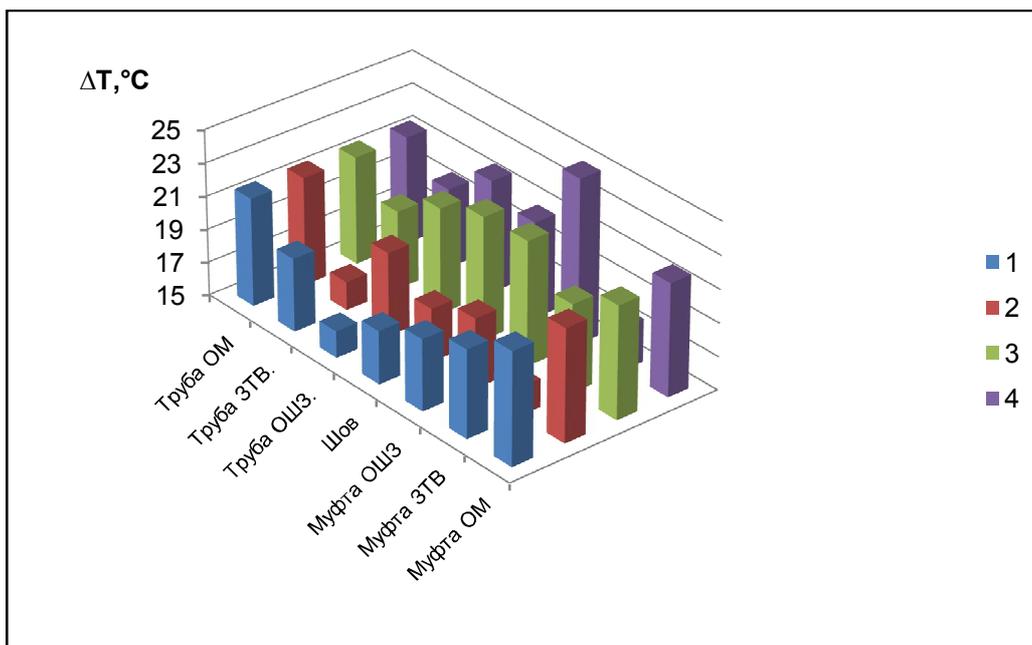


Рисунок 3.29 - Гистограмма интервалов температур фазового перехода зон сварных раструбных соединений полипропиленовых труб, выполненных при различных температурах ОВ; 1) Температура ОВ 23 °С; 2) температура ОВ минус 30 °С по разработанной технологии; 3) температура ОВ 1 °С ; 4) температура ОВ минус 30 °С

Используя термограммы ДСК плавления зон сварных соединений, полученных при различных температурах окружающего воздуха, исследовалась кинетика их кристаллизации. Относительные кристалличности материалов определялись по термограммам следующим образом:

$$\alpha_T = 1 - \frac{\Delta H_T}{\Delta H},$$

где ΔH_T - часть энтальпии плавления до текущей температуры T , ΔH – энтальпия плавления.

$$\Delta H_T = \int_{T_{nn}}^T Q(T)dT, \quad \Delta H = \int_{T_{nn}}^{T_{kn}} Q(T)dT,$$

где $Q(T)$ – функция теплового потока (кривая ДСК), T – температура, T_{nn} – температура начала плавления, T_{kn} - температура конца плавления. При этом условная базовая прямая для сравниваемых кривых ДСК бралась одна и та же.

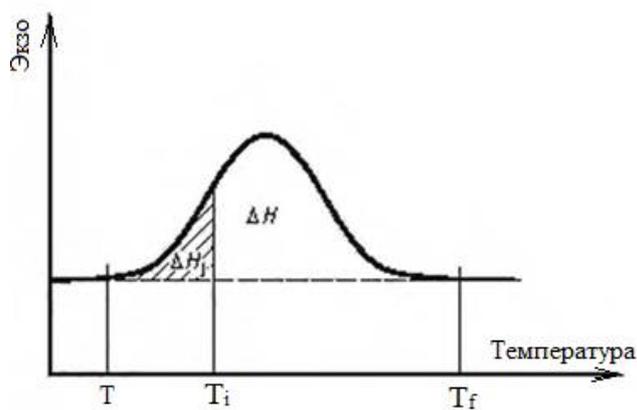


Рисунок 3.30 - Вычисление относительной кристалличности из данных, полученных в режиме сканирования по температуре

Определение характеристических значений температуры и энтальпии выполняют по ГОСТ Р56724.

Исследование кривых относительная кристалличность зон сварных раструбных соединений полипропиленовых труб показало, что динамика плавления материалов зон сварного шва полученных при 18°C и при минус 30°C по разработанной технологии совершенно идентичны (рисунок 3.31), что в свою очередь доказывает схожесть полученных материалов области шва в результате кристаллизации. При постепенном повышении температуры сначала, естественно, плавятся мелкие кристаллы, далее - средние, а в конце, при высоких температурах, крупные кристаллы. В данном случае речь может идти о близких размерах сферолитов, которые, при определенной температуре, при плавлении поглощают одинаковое количество тепла.

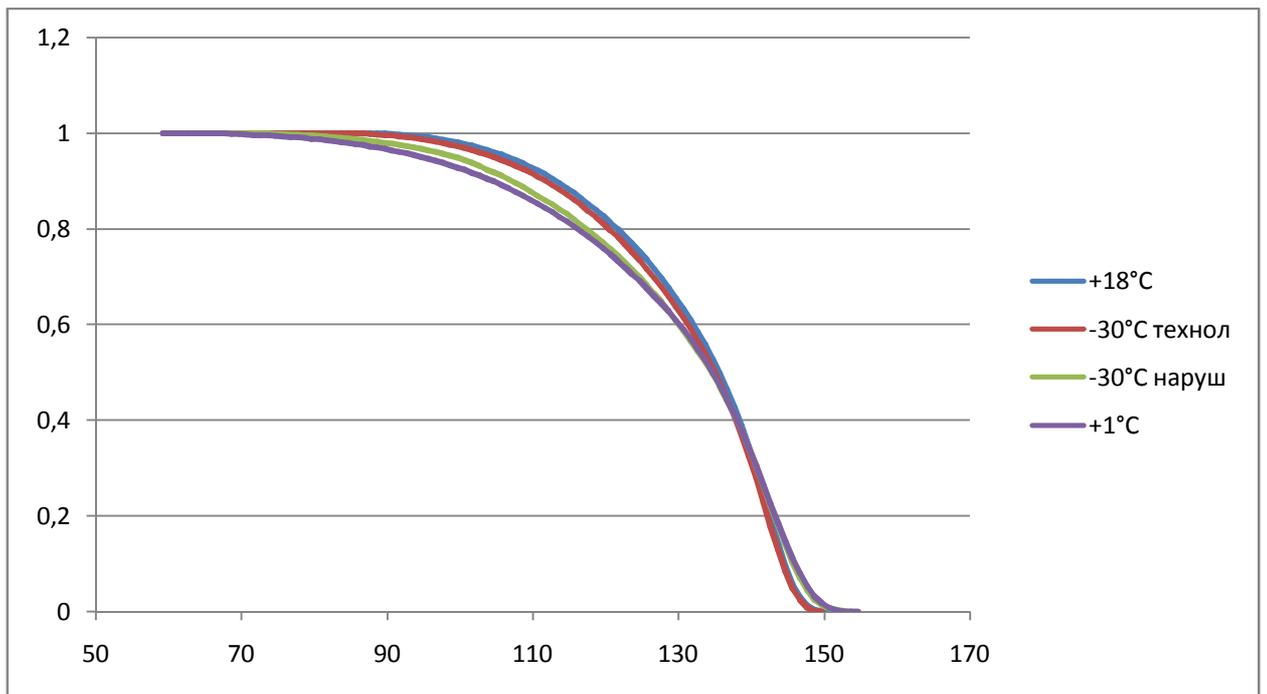


Рисунок 3.31 – Кривая относительной кристалличности области шва

В то же время кривые относительной кристалличности материала швов сварных соединений, выполненных при 1°C и минус 30°C различаются. При этих температурах ОВ, судя по характеру кривых, скорость плавления материала шва более медленная, а конечная температура выше, что свидетельствует о наличии кристаллов разных размеров.

В участке вблизи шва структура материалов сварных соединений, выполненных при 18°C и при минус 30°C по разработанной технологии, также совершенно идентичны (рисунок 3.32). А в структурах материала сварных соединений выполненных при температуре ОВ 1°C и минус 30°C. в этой зоне различие увеличивается.

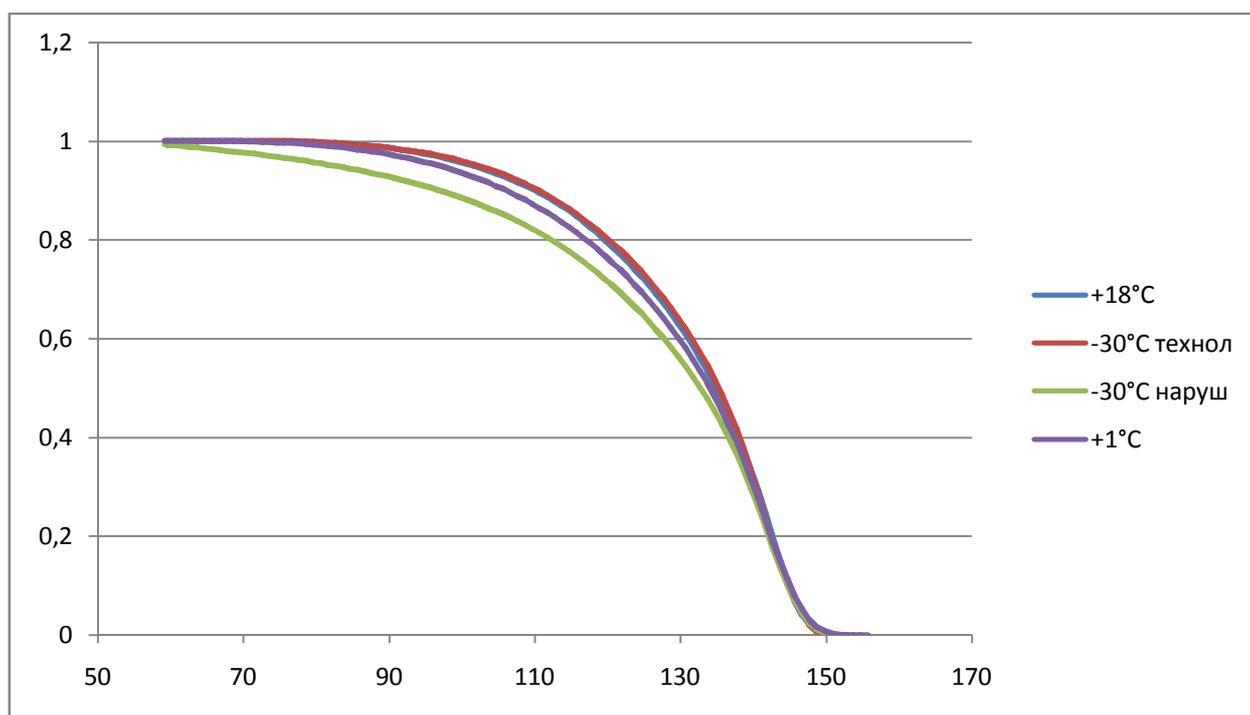


Рисунок 3.32 – Кривая относительной кристалличности участка вблизи шва сварных соединений

Как видно из кривой относительной кристалличности материал участка вблизи шва сварного соединения, полученного при температуре минус 30°C, начинает плавиться при более низких температурах, что свидетельствует о наличии мелких сфероидитов, а как известно более мелкие сфероидиты образуются из-за высокой скорости охлаждения расплава под влиянием отрицательных температур ОВ. Это полностью соответствует нашему утверждению о том, что влияние низких температур ОВ усиливается по мере удаления от области шва.

В ЗТВ кривые относительной кристалличности сварных соединений, выполненных при 18°C и при минус 30°C по разработанной технологии остаются идентичными (рисунок 3.33), что свидетельствует о том, что применения предварительного подогрева и теплоизоляционной камеры при остывании сварного соединения, во время сварки при отрицательных температурах ОВ, приводит к формированию структуры материала близкой к структуре материала сварного соединения выполненного при положительных температурах.

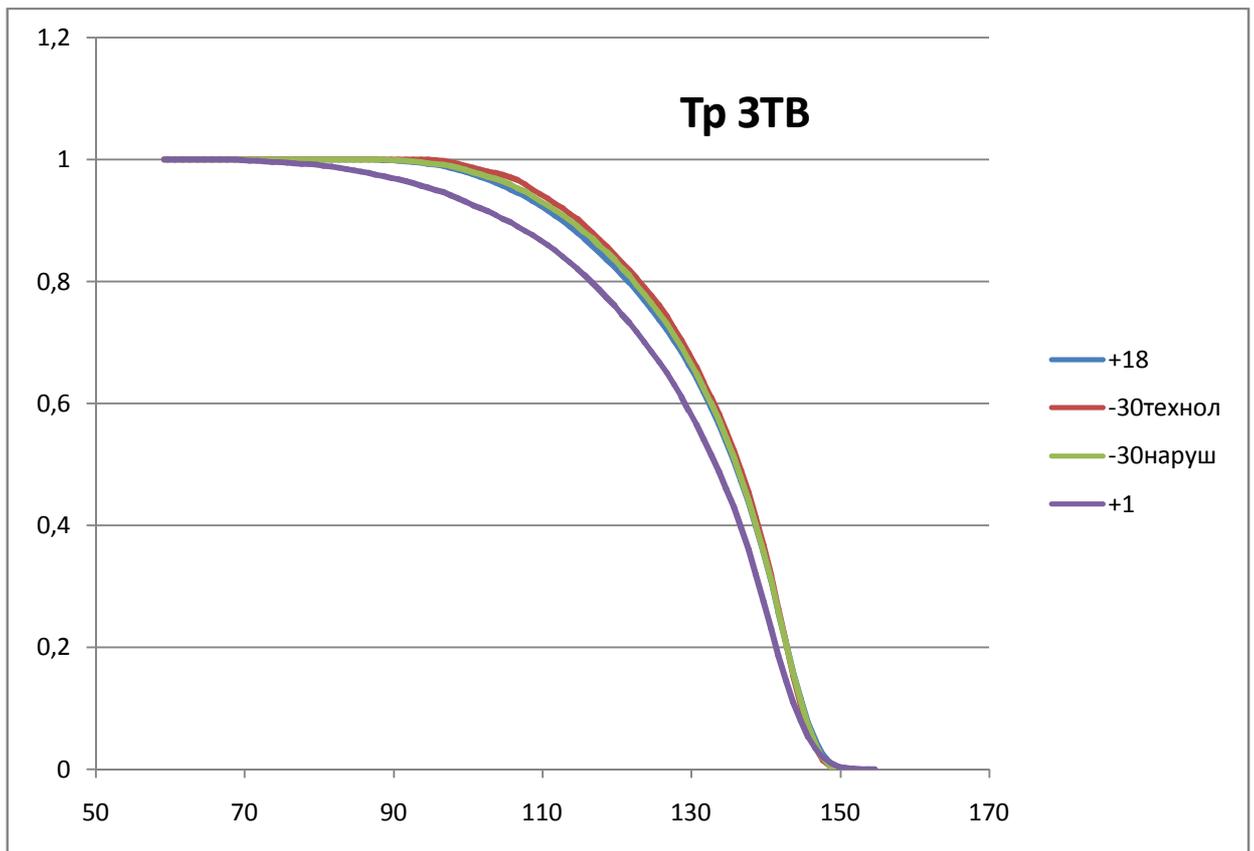


Рисунок 3.33 – Кривая степени превращения ЗТВ сварных соединений

Смещение кривой относительной кристалличности материала ЗТВ сварного соединения, выполненного при температуре ОВ минус 30°С, в сторону более высоких температур связано, вероятно, с тем, что структура в этой зоне сменилась с сферолитной на фибриллярную.

Выводы к главе 3

1. При сварке при температуре ОВ 23°С в сварном соединении формируется сферолитная структура материала.
2. При увеличении скорости остывания сварного шва формируется фибриллярно - сферолитная или фибриллярная структура.
3. При сварке при отрицательных температурах фибриллярно - сферолитная или фибриллярная структура формируется в участке вблизи шва или зонах термического влияния, а не в области шва.
4. При сварке при отрицательных температурах ОВ по разработанной технологии в сварном соединении формируется сферолитная структура, близкая структуре сварных соединений, выполненных при температуре ОВ23°С.
5. Близость интервалов температур фазового перехода материала сварных соединений, выполненных при 23°С и минус 30°С по разработанной технологии, согласно данным калориметрического исследования, свидетельствует об однородности их структур.
6. - надмолекулярная структура зоны шва сварного соединения пропиленовых труб в раструб однородна, независимо от того, при каком режиме они сварены;
7. - при проведении сварки ПП труб при отрицательных температурах окружающего воздуха наибольшим изменениям подвергается не зона область шва, а участок вблизи шва или зона термического влияния;

Глава 4. ИСПЫТАНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ

4.1 Механические испытания сварных соединений

4.1.1 Испытания на статический отдир

Испытания линейных образцов на отдир производят для труб диаметром более 50 мм после полного остывания сварного соединения и выполняются изгибом свободной части образца, защемленного на половину длины сварного шва (рисунок 4.1).

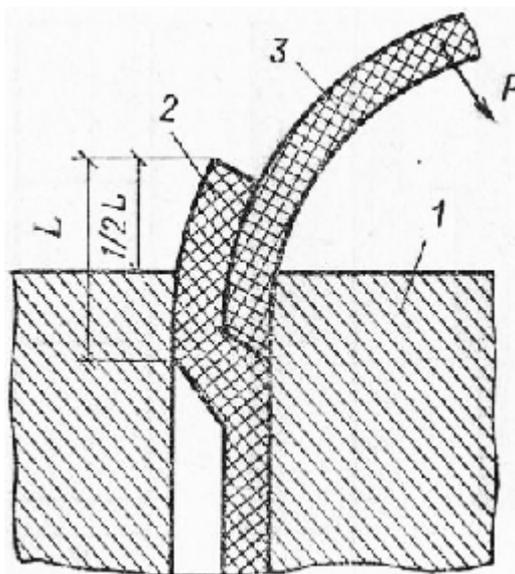


Рисунок 4.1 - Испытание образцов на отдир 1 — зажимное устройство; 2 — деталь раструба или муфты; 3 — деталь трубы

Для проведения испытаний изготавливают удвоенное число образцов для испытания на отдир трубы от раструба соединительной детали и для испытаний на отдир раструба соединительной детали от трубы. При толщине стенки трубы до 10 мм включительно ширина образцов для испытаний должна составлять 10 мм, а длина $40s + 200$ мм, но не более 600 мм. Если толщина стенки трубы более 10 мм, то образцы для испытаний должны иметь ширину 15 мм и длину 600 мм.

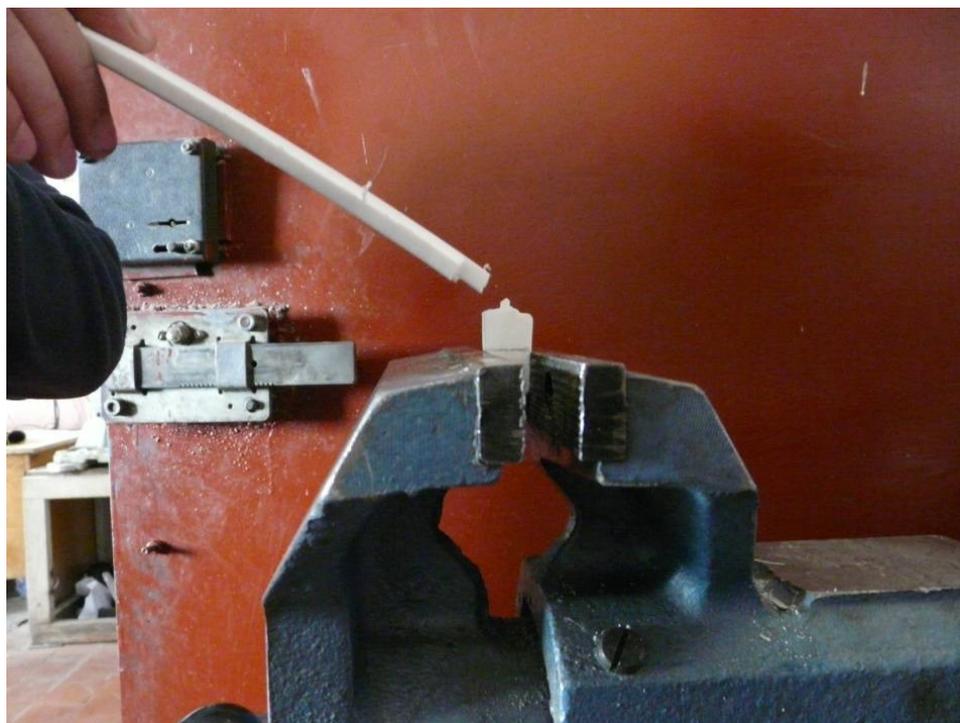
При удовлетворительном качестве соединений разрушение должно происходить по целому материалу или частично по шву и частично по основному материалу.

Испытания на отдир проводились для сварных соединений, полученных стандартной технологией при допустимой температуре, при температурах ниже нормативных без предварительного подогрева и теплоизоляции при охлаждении, а также при низких температурах воздуха с предварительным подогревом и с использованием теплоизоляции с расчетной толщиной. На рисунке 4.2 представлены этапы процесса отдира.

Испытания показали, что все образцы, включая сваренные с нарушением технологического режима – при температурах воздуха ниже нормативных без предварительного подогрева и без теплоизоляции при охлаждении, разрушаются по основному материалу. Таким образом, согласно испытаниям на отдир удовлетворительное качество имеют сварные соединения, заведомо имеющие нарушение технологического режима. Следовательно, испытания на отдир не могут быть использованы для проверки эффективности расчетных технологических параметров сварки полипропиленовых труб в раструб при разработке технологии сварки при температурах ниже нормативных.



а)



б)

Рисунок 4.2 - Общий вид испытаний образцов сварных соединений: А – изгиб свободной части образца; Б – характерное разрушение по основному материалу

4.1.2. Испытания на сдвиг сжатием

Согласно ВСН 003-88 «Строительство и проектирование трубопроводов из пластмассовых труб» испытание раструбных соединений производят:

а) на трубчатых образцах длиной $(235+L) \pm 1$ мм, сваренных с помощью муфты, на сдвиг растяжением при наружном диаметре труб до 50 мм;

б) на кольцевых образцах высотой h , равной половине глубины раструба l , вырезаемых из раструбного соединения трубы с соединительной деталью (рисунок 4.3, б), на сдвиг сжатием по схеме рисунка 4.4 при наружном диаметре труб 50 мм и более.

Качество сварного раструбного соединения считается удовлетворительным:

а) если при испытании трубчатых образцов все разрушения происходили по основному материалу трубы или соединительной детали;

б) если при испытании кольцевых образцов на сдвиг разрушающее напряжение для ПНД (полиэтилена низкого давления) составило не менее 15 МПа (80 кгс/см^2) и 16 МПа для ПП (полипропилена)..

Разрушающее напряжение при сдвиге $\sigma_{рсдв}$ определяется по формуле

$$\sigma_{рсдв} = \frac{P_p}{\pi D_c h} \quad (4.1)$$

где P_p – разрушающая нагрузка, Н; D_c – диаметр поверхности сварки, равный наружному диаметру трубы, мм; h – высота кольца, мм.

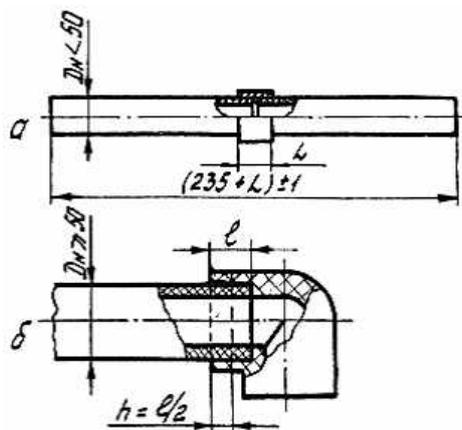


Рисунок 4.3 - Образцы для испытаний сварных раструбных соединений: а – на сдвиг растяжением; б– на сдвиг сжатием с вырезкой кольцевого образца; L – длина муфты; l – глубина раструба; h – высота кольцевого образца

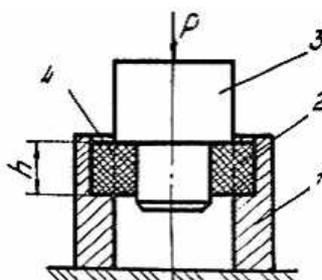


Рисунок 4.4 - Схема испытания раструбного сварного соединения на сдвиг: 1 – матрица; 2 – кольцевой образец со сварным швом в центре стенки; 3 – пуансон; 4 – сварной шов

Испытаниям на сдвиг подвергались образцы сварных раструбных соединений, полученных при стандартной сварке, при низких температурах по стандартной технологии, при низких температурах с предварительным подогревом и охлаждением под слоем теплоизоляции. Испытания раструбных соединений на сдвиг проводились на машине для испытания на сжатие типа ИП-1А-1000 при скорости нагружения 1 кН/с (рисунок 4.5). Также испытывались образцы с дефектами в виде непровара (рисунок 4.6).

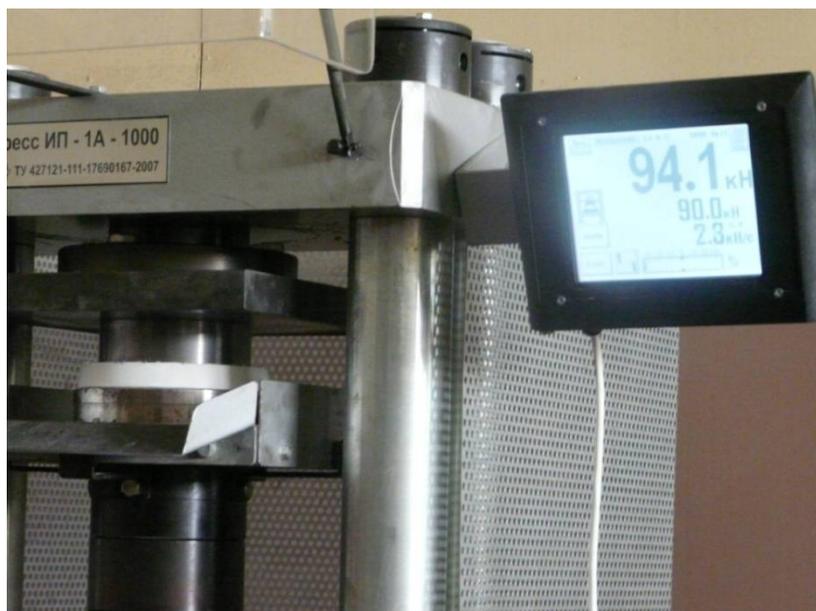


Рисунок 4.5- Испытание раструбного сварного соединения на сдвиг на машине для испытания на сжатие типа ИП-1А-1000



Рисунок 4.6- Раструбное сварное соединение с заданным дефектом в виде непровара

Таблица 4.1

Разрушающие напряжения при испытаниях раструбных сварных соединений на сдвиг

№ образца	Режим сварки	Нагрузка, Н	Диаметр, D, мм	Площадь сварки, мм ²	Разрушающее напряжение, МПа	Средняя высота кольца			
1	-19, время нагрева +50% 36сек	44500	63,4	2856,741	15,58	14,35			
2		46700	63,4	2886,602	16,18	14,50			
3	+13, стандартная, 24сек	45100	63,4	2876,64	15,68	14,45			
4		42400	63,4	2737,295	15,49	13,75			
5		42900	63,4	2896,556	14,81	14,55			
6	-19, время нагрева 24сек	37900	63,4	2797,018	13,55	14,05			
7		48900	63,4	2856,741	17,12	14,35			
8		45400	63,4	2876,648	15,78	14,45			
	+1	48000	63,4	2866,694	16,74	14,40			
	+1	48300	63,4	2806,972	17,21	14,10			
	-22, время нагрева 36 с	44900	63,4	2727,341	16,46	13,70			
	-22, предварительный подогрев, без изоляции	41100	63,4	2627,803	15,64	13,20			
	-22, предварительный подогрев, с изоляцией	41900	63,4	2707,434	15,47	13,60	Площадь дефекта	Площадь сварки фактическая	Разрушающее напряжение фактическое
9	дефект 20мм	39200	63,4	2956,279	13,26	14,85	297	2659,2786	14,74
10		40100	63,4	2926,417	13,70	14,70	294	2632,4172	15,23
11	дефект 40мм	36100	63,4	2866,694	12,59	14,40	576	2290,6944	15,76
12		34300	63,4	2836,833	12,09	14,25	570	2266,833	15,13
13	дефект 60мм	33300	63,4	2886,602	11,54	14,50	870	2016,602	16,51
14		32800	63,4	2886,602	11,36	14,50	870	2016,602	16,26

В таблице 4.1 показаны результаты испытаний раструбных сварных соединений на сдвиг. Соответствие разрушающих напряжений сварных соединений, полученных при температуре минус 22°С с использованием предварительного подогрева и слоя теплоизоляции толщиной 2 см при охлаждении и при сварке в условиях допустимых температур (при 13°С), свидетельствует об эффективности предлагаемой технологии раструбной сварки при низких температурах. Достоверность этого утверждения подтверждается низкими показателями разрушающего напряжения сварных соединений с дефектами, значения которых снижаются с увеличением размера дефектов.

Достаточно высокие значения разрушающих напряжений сварных соединений, полученных при низких температурах без предварительного подогрева и использования теплоизоляции, не позволяют исключить подогрев и использование теплоизоляции при охлаждении, поскольку рассматриваемый показатель качества сварного соединения относится к кратковременной прочности соединения. Как показывает опыт стыковой сварки полиэтиленовых труб при низких температурах, несмотря на высокие показатели кратковременной прочности, длительные прочности могут оказаться существенно ниже нормативных. ввиду отсутствия методик испытаний на длительную прочность раструбных сварных соединений, далее намечается разработка новой методики таких испытаний.

4.2 Испытания сварных соединений давлением

4.2.1. Гидравлическое испытание напорных трубопроводов

Согласно СП 40-102-2000 «Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования» предварительное испытательное (избыточное) гидравлическое давление при испытании на прочность, выполняемое до засыпки траншеи и установки арматуры (гидрантов, предохранительных клапанов, вантузов), должно быть равно расчетному рабочему давлению, умноженному на коэффициент 1,5 [114].

Предварительное гидравлическое испытание напорных трубопроводов следует производить в следующем порядке:

- трубопровод заполнить водой и выдержать без давления в течение 2 ч;
- в трубопроводе создать испытательное давление и поддерживать его в течение 0,5 ч;
- испытательное давление снизить до расчетного и произвести осмотр трубопровода.

Выдержка трубопровода под рабочим давлением производится не менее 0,5 ч. Ввиду деформации оболочки трубопровода необходимо поддерживать в трубопроводе испытательное или рабочее давление подкачкой воды до полной стабилизации.

Трубопровод считается выдержавшим предварительное гидравлическое испытание, если под испытательным давлением не обнаружено разрывов труб или стыков и соединительных деталей, а под рабочим давлением не обнаружено видимых утечек воды.

Проведены испытания образцов полипропиленовых труб с раструбной сваркой, выполненных при различных температурах окружающего воздуха, включая температуры ниже регламентируемых нормативными документами. При этом раструбная сварка при низких температурах производилась по предлагаемой технологии, включающей предварительный подогрев, охлаждение для выравнивания температур и охлаждение сварного соединения под слоем теплоизоляции с расчетной толщиной. Также при низких температурах раструбная сварка производилась с заведомым нарушением технологического режима – без предварительного подогрева, время нагрева (оплавления) регламентированное, охлаждение без теплоизоляции.

Рабочее давление для систем водоснабжения из полипропиленовых труб составляет 0,6 МПа. Гидравлическое давление при испытании равнялось 0,9 МПа. На рисунке 4.7 представлен стенд для гидравлических испытаний.

Испытания показали, что все трубопроводы со сварными соединениями,

полученными при низких температурах согласно расчетным технологическим параметрам, выдерживают предварительные гидравлические испытания. Тем не менее, предварительные гидравлические испытания выдерживают также трубопроводы со сварными соединениями, полученными с нарушением технологического режима. Например, со сварными соединениями, полученными при температурах ниже нормативных без предварительного подогрева и теплоизоляции при охлаждении. Таким образом, гидравлические испытания не позволяют выявить нарушения технологического режима.



Рисунок 4.7 - Общий вид станда для гидравлических испытаний труб и сварных соединений

4.2.2. Испытания на стойкость при постоянном внутреннем давлении

Одним из основных способов испытаний раструбного сварного соединения полимерной трубы, участка трубопровода, содержащего раструбное сварное соединение является испытание внутренним давлением, суть которого сводится к следующему. Раструбное соединение выдерживают определенное время под

избыточным гидравлическим давлением. Качество сварного соединения определяется отсутствием разрывов стыков или соединительных деталей.

Для испытания полипропиленовых труб и их сварных соединений была разработана и собрана установка (рисунок 4.8) для определения стойкости при постоянном внутреннем давлении, которая представляет собой резервуар для рабочей жидкости (1), стенки которого покрыты теплоизоляционными пластинами из пенополистирола. В нижней части резервуара установлены два нагревателя (2), подключенные к источнику питания через реле и регулирующее устройство «Термодат 17Е3» (3). Температура рабочей жидкости в резервуаре измеряется с помощью преобразователя термоэлектрического «ТД711В» (4) и регулирующего устройства «Термодат 17Е3» (3). Таким образом «Термодат 17Е3» измеряет и контролирует заданную температуру испытания. На образец для испытания (5), отобранный по ГОСТ ISO1167-2-2013, с обеих сторон устанавливаются заглушки (6). К одной заглушке подсоединяется источник давления – установка для гидравлических испытаний УГИ -1, к другой - манометр (8) для контроля давления. Испытание проводится по ГОСТ ISO 1167-1-2013.

Заглушка (рисунок 4.9) представляет собой металлический цилиндр (1), диаметром равным внутреннему диаметру трубы плюс 2% внутреннего диаметра трубы. Поверхность заглушки имеет зазубрины, чтобы избежать выдавливания ее из трубы (2) во время испытания. В заглушке имеется отверстие с резьбой (4) для подключения источника давления или манометра. Перед монтажом заглушки конец трубы, для размягчения, нагревается до 80-90°С, затем в него впрессовывается заглушка и сверху затягивается металлический хомут (3).

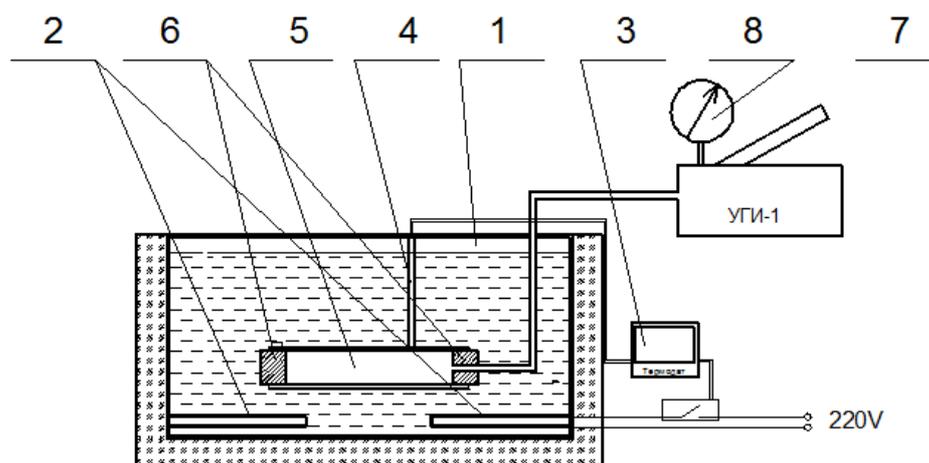


Рисунок 4.8 - Схема установки для определения стойкости при постоянном внутреннем давлении

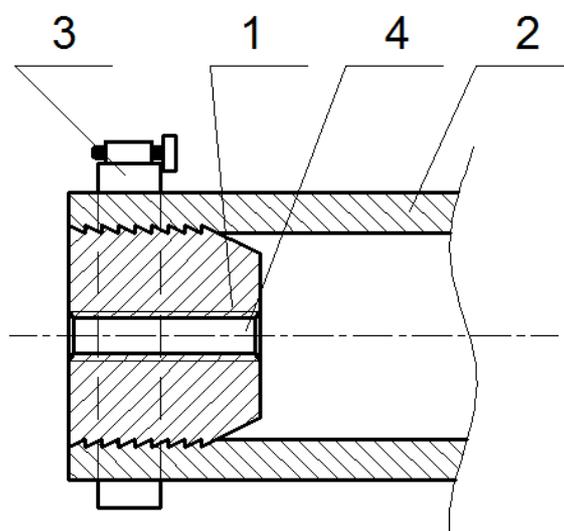


Рисунок 4.9 - Схема заглушки для полипропиленовой трубы, испытываемой на стойкость к внутреннему давлению

Разработанная установка позволяет реализовать высокое давление 44 МПа, низкое давление 4 МПа. Имеет манометр с верхним пределом измерений 60 МПа, класс точности 1,5 ГОСТ 2405.

На рисунке 4.10 представлен общий вид установки для определения стойкости при постоянном внутреннем давлении.



а)



б)

Рисунок 4.10 - Общий вид установки для определения стойкости при постоянном внутреннем давлении: а) с не погруженным; б) с погруженным в рабочую жидкость образцом

Недостатком указанного способа испытаний раструбных соединений является невозможность даже качественного определения прочности раструбной сварки не говоря уже о количественном определении прочности раструбного сварного соединения полимерных труб, так как при подаче завышенного давления в полимерную трубу из-за эластичности полимерного материала трубы,

непроваренные места, даже сплошности будут прочно прижаты друг к другу из-за самой конструкции раструбного соединения, поскольку испытания проводятся при комнатной и плюс 95 °С температурах, при которой полимерный материал становится размягченным.

4.3. Исследования сварного шва методом вторичного локального нагрева

Известно, что после сварки остывание шва происходит под давлением, материал оказывается в напряженном, как бы «замороженном» состоянии. При вторичном локальном нагреве выше температуры плавления материал зоны шва релаксирует, четко обозначая его границы [74]. Данное свойство полимеров использовалось и в нашем случае раструбной сварки полипропиленовых труб.

В качестве нагревательного инструмента использовался технический фен «Электро». Нагрев зоны шва производился с расстояния 12 см при температуре на выходе из сопла 200°С в течение 90 с. При вторичном нагреве вследствие различия коэффициентов расширения и теплофизических характеристик основного материала и материала сварного соединения их границы и линия сварного шва должны стать видимыми из-за неравномерной осадки материалов. Однако, в случае полипропиленового сварного раструбного соединения после вторичного нагрева для выявления наиболее четкой картины на область сварки дополнительно наносился порошок терморасширенного графита с дисперсностью 160-300 мкм. На рисунке 4.11 представлена микрофотография области оплавления сварного соединения раструбной сварки полипропиленовой трубы и муфты.

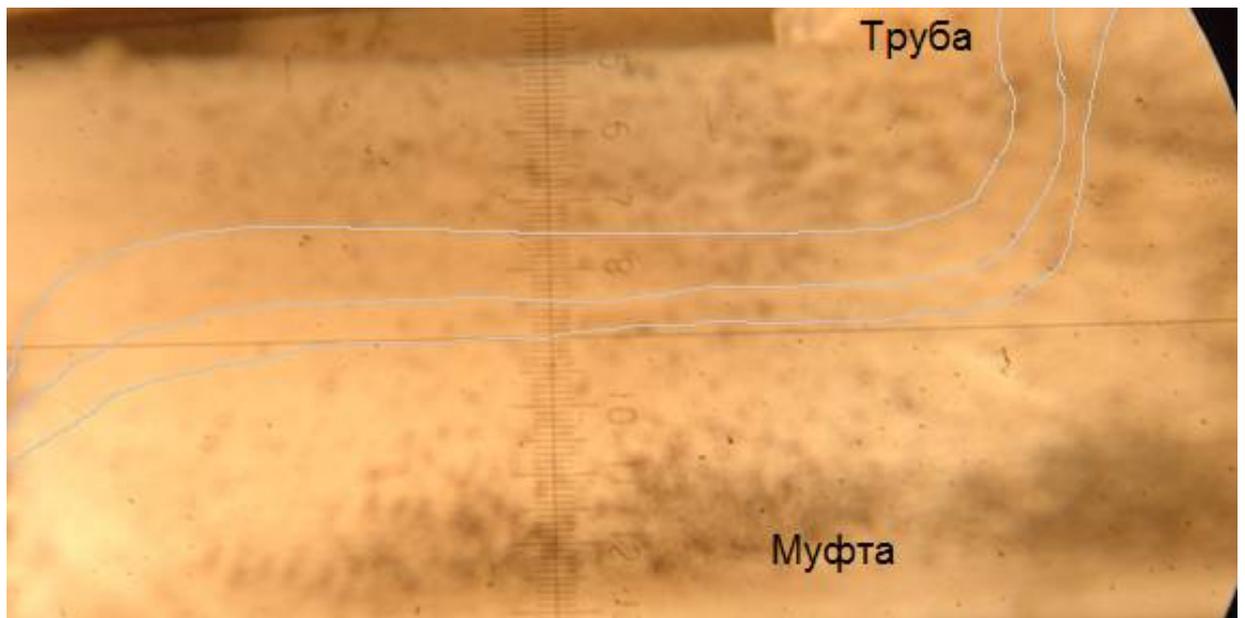


Рисунок 4.11 - Границы оплавления в раструбном сварном соединении полипропиленовой трубы. Микрофотография области оплавления раструбной сварки в отраженном свете. $\times 100$

Размеры области оплавления были измерены с помощью оптического микроскопа с ценой деления 100 мкм в шести участках (рис. 4.12):

- 1' - глубина расплава в трубе посередине сварного соединения;
- 1" – глубина расплава в соединительной муфте посередине сварного соединения;
- 2' - глубина расплава в трубе на удалении 5 мм от наружного грата;
- 2" – глубина расплава в соединительной муфте на удалении 5 мм от наружного грата;
- 3' – глубина расплава в трубе на удалении 5 мм от внутреннего грата
- 3" – глубина расплава в соединительной муфте на удалении 5 мм от внутреннего грата.

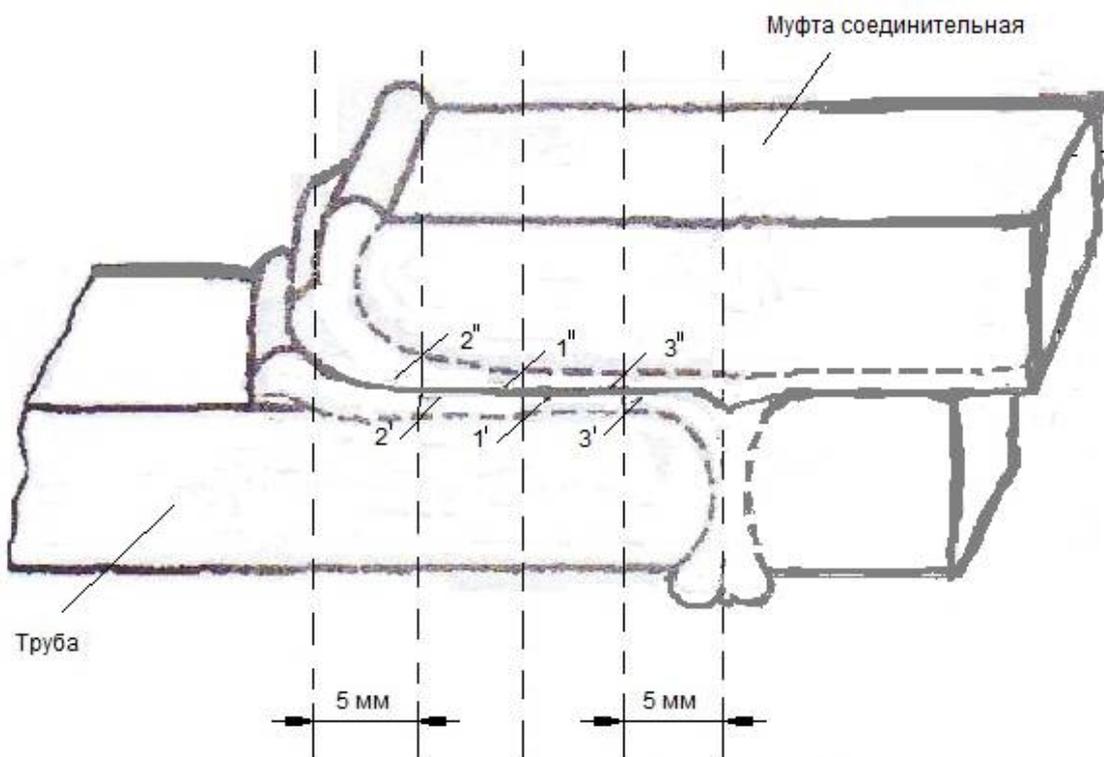


Рисунок 4.12 - Схема участков измерения размеров области оплавления в раструбном сварном соединении

В таблицах 4.2–4.4. приведены результаты измерения ширины участков области оплавления в трубе и муфте раструбного сварного соединения.

Таблица 4.2

Ширина участков области оплавления в трубе и муфте при различных режимах сварки

Режим сварки	Участки сварного соединения					
	1'	1''	2'	2''	3'	3''
Тов=+23 °С	900 мкм	110 0 мкм	150 0 мкм	500 мкм	600 мкм	1200 мкм
Тов= -36 °С, предварительный подогрев, охлаждение с теплоизоляцией	100 0 мкм	120 0 мкм	150 0 мкм	700 мкм	150 0 мкм	700 мкм
Тов= -16 °С, время нагрева увеличено на 50 %	800 мкм	800 мкм	100 0 мкм	200 мкм	500 мкм	1200 мкм

Таблица 4.3

Ширина области оплавления по участкам

Режим сварки	Участки		
	1	2	3
Т _{ов} =+23 °С	2000 мкм	2000 мкм	1800 мкм
Т _{ов} = -36 °С, предварительный подогрев, охлаждение с теплоизоляцией	2200 мкм	2200 мкм	2200 мкм
Т _{ов} = -16 °С, время нагрева увеличено на 50 %	1600 мкм	1200 мкм	1700 мкм

Таблица 4.4

Средняя ширина области оплавления в трубе и муфте

Режим сварки	Средняя ширина области оплавления	
	В трубе	В муфте
Т _{ов} =+23 °С	1000 мкм	900 мкм
Т _{ов} = -36 °С, предварительный подогрев, охлаждение с теплоизоляцией	1300 мкм	800 мкм
Т _{ов} = -16 °С, время нагрева увеличено на 50 %	800 мкм	700 мкм

4.4. Разработка методов испытаний на прочность

4.4.1 Кратковременные испытания на осевое растяжение

Для получения количественной оценки прочности раструбного сварного соединения полипропиленовых труб были произведены испытания на осевое растяжение по новой разработанной методике [102]. Суть метода заключается в том, что на стандартном образце для испытаний на растяжение, где исследуемое раструбное сварное соединение расположено посередине образца, на муфте 1 вырезается прорезь 2 параллельно краю муфты глубиной более оплавленной глубины стенки муфты, но не более толщины стенки муфты и с использованием инструмента, повторяющего кривизну опорной площади, на внутренней стенке трубы 3 вырезается прорезь 4 глубиной более оплавленной глубины стенки

трубы, но не более толщины стенки трубы параллельно краю трубы. Расстояние между прорезями 2 и 4 рассчитывается таким образом, чтобы площадь сечения испытываемой части А раструбного сварного соединения была меньше, чем площадь минимального поперечного сечения образца вне зоны раструбного соединения (рисунок 4.13). При стандартных кратковременных испытаниях на растяжение разрушение образца произойдет по сварному шву в области А, так как прочность сварного соединения, как правило, меньше, чем прочность основного материала.

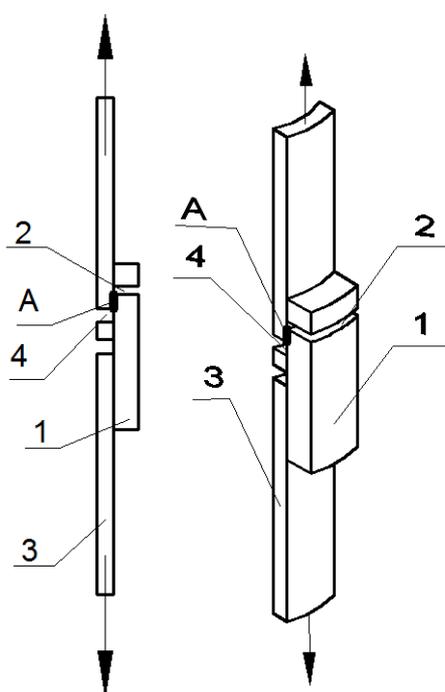


Рисунок 4.13 - Образец для определения прочности раструбной сварки

Таким образом, на предлагаемом образце при испытаниях на растяжение разрушение образца произойдет только по месту сварного соединения, т.е. можно определить прочностные свойства раструбного сварного соединения полимерных труб как с внешней стороны трубы и с внутренней стороны трубы, так и на любом месте раструбной сварки.

Испытаниям подвергались сварные соединения, произведенные при следующих режимах:

- 1) Температура ОВ минус 16°C, время нагрева $t_H=36$ с;
- 2) Температура ОВ минус 35°C, $t_H=24$ с, предварительный подогрев, охлаждение в теплоизоляции;
- 3) Температура ОВ +23°C, $t_H=24$ с, стандартная сварка;
- 4) Основной материал трубы.
- 5) Основной материал муфты.

Результаты испытаний приведены на рисунках 4.14 и 4.15.

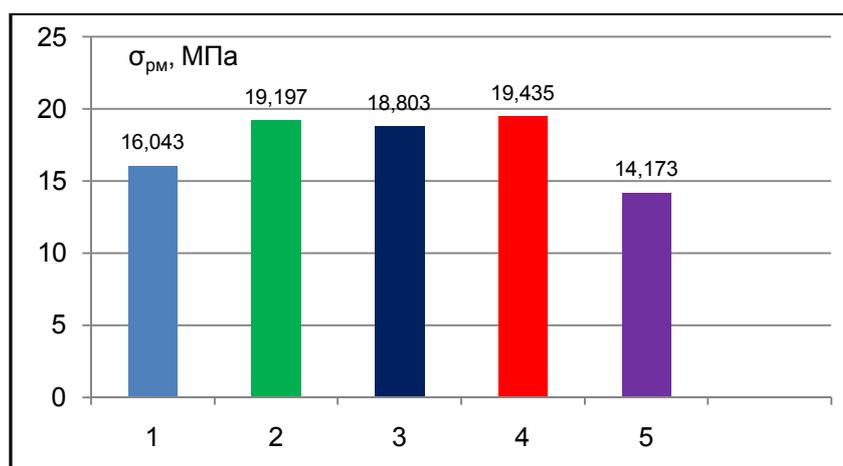


Рисунок 4.14 - Предел текучести сварных соединений

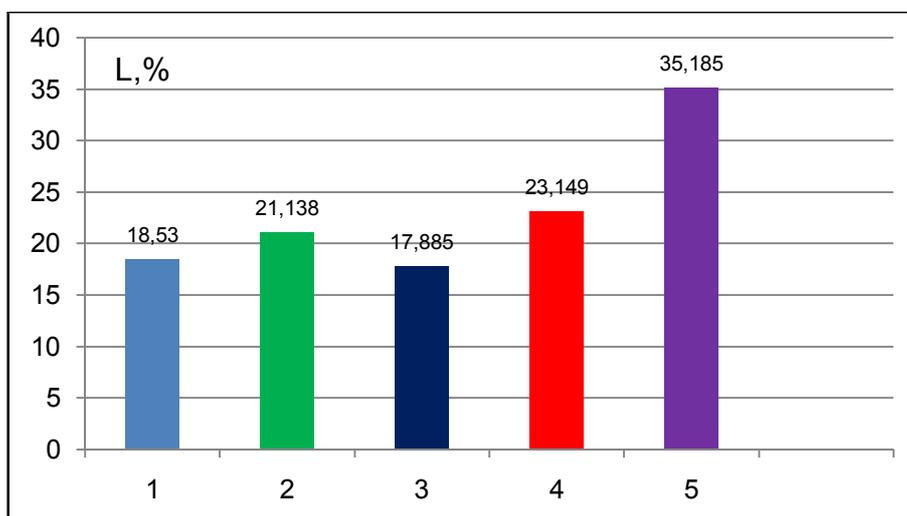


Рисунок 4.15 - Относительное удлинение при разрыве сварных соединений труб ППРЗ Ø 63мм SDR 11 (PN 10) выполненных при различных режимах сварки

4.4.2. Испытания на длительное растяжение

Для оценки качества сварных соединений в сочетании с испытаниями на кратковременную прочность ценные результаты дает испытание на длительное растяжение в режиме ползучести. Особенно важны длительные испытания для соединений, несущих нагрузку длительное время, каковым является трубопровод водоснабжения.

Испытание на ползучесть при растяжении проводится согласно ГОСТ 18197-2014. Для этого используется стенд, в котором образцы со сварным соединением подвергаются статической нагрузке при постоянной температуре.

На рисунке 4.16 представлен стенд для испытания на длительную прочность сварных соединений, изготовленный в ИПНГ СО РАН.

Стенд позволяет поддерживать в двенадцати образцах постоянное статическое растягивающее усилие на каждом образце в течение всего времени испытания. Перед нагружением образцы кондиционируются при комнатной температуре с последующим погружением в испытательную среду. Нагружение образцов осуществляется плавно после выравнивания температуры в испытательной ванне. В качестве испытательной среды используется дистиллированная вода с 2 %-ным содержанием смачивающего поверхностно-активного вещества ОП-10 по ГОСТ 8433. В процессе испытания обеспечивается неизменная концентрация смачивающего вещества с точностью ± 5 %. Температура испытательной среды 95 °С поддерживается постоянной в течение испытаний автоматически. В процессе испытаний автоматически фиксируется время выдержки в испытательной среде до разрушения образцов. Испытания сварных соединений проводятся с гратом или без него в месте сварки.

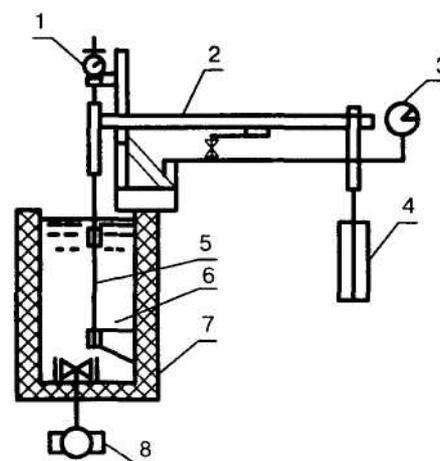
Нагрузка при проведении испытания выбирается таким образом, чтобы характер разрушения образца был хрупкий. Усилие рассчитывается исходя из минимального поперечного сечения образца. Согласно ГОСТ Р 55142-2012 для полипропилена типа 3 (рандом сополимера) рекомендуемое напряжение при

испытании, при которых наблюдается хрупкое разрушение образцов в двухпроцентном водном растворе ПАВ (ОП-7 или ОП-10) с температурой 95 °С, составляет 3,5 Н/мм². Для полипропилена типа 1 (гомополимер) рекомендуемое напряжение составляет 4 Н/мм². При этом минимальная стойкость основного материала при длительном растяжении составляет 800 часов (примерно 33 суток), что неприемлемо при выборе технологического режима в короткий срок.

Кроме того, при таких испытаниях необходимо обеспечить хрупкое разрушение образца по месту сварки. При длительных испытаниях на стенде в образцах, полученных стыковой сваркой труб, разрушение будет происходить по месту сварки. Образцы, полученные сваркой нагретым инструментом в раструб, будут разрушаться не по месту сварки, а по основному материалу, поскольку площадь сварки всегда будет больше минимальной площади поперечного сечения образца.



а)



б)

Рисунок 4.16 - Стенд для испытаний на длительное растяжение: а) Общий вид; б) схема стенда: 1 – стрелочный индикатор; 2 – рычаг для передачи силы; 3 – прибор для учета времени; 4 – контрольный груз; 5 – образец; 6 – испытываемая среда; 7 – теплоизолированная ванна; 8 – насос для циркуляции жидкости

В связи с этим необходимо разработать методику длительных испытаний, позволяющую на стенде разрушать образцы по месту сварки за время, исчисляемое несколькими сутками. Такое разрушение можно получить уменьшением площади сварки в образце, используя образец для определения прочности раструбной сварки, представленный в параграфе 4.4.1.

Проведены многочисленные длительные испытания образцов сварных раструбных соединений в среде с ПАВ при температуре 95°C с варьированием напряжений в интервале от 3,4 до 10 МПа, путем изменения площадей сварных швов от 30 до 58 мм² и нагрузки от 20 до 30 кг. В результате экспериментов для дальнейших испытаний выбрано напряжение 5,7 МПа на образцах с площадью сварного шва равной 35 мм².

Длительным испытаниям подвергались по 3 образца раструбных сварных соединений труб ППР3 диаметром 63мм SDR 11, полученных при следующих режимах сварки:

- 1) Температура ОВ минус 16°C, время нагрева $t_n=36$ с;
- 2) Температура ОВ минус 35°C, $t_n=24$ с, предварительный подогрев, охлаждение в теплоизоляции;
- 3) Температура ОВ +23°C, $t_n=24$ с, стандартная сварка;

Результаты длительных испытаний образцов сварных раструбных соединений, полученных при различных режимах приведены в таблице 4.5 и на рисунке 4.17.

Таблица 4.5

Результаты длительных испытаний образцов сварных раструбных соединений

Режимы сварки	Среднее время до разрушения образца, час.
1	229,3
2	341,5
3	305,5

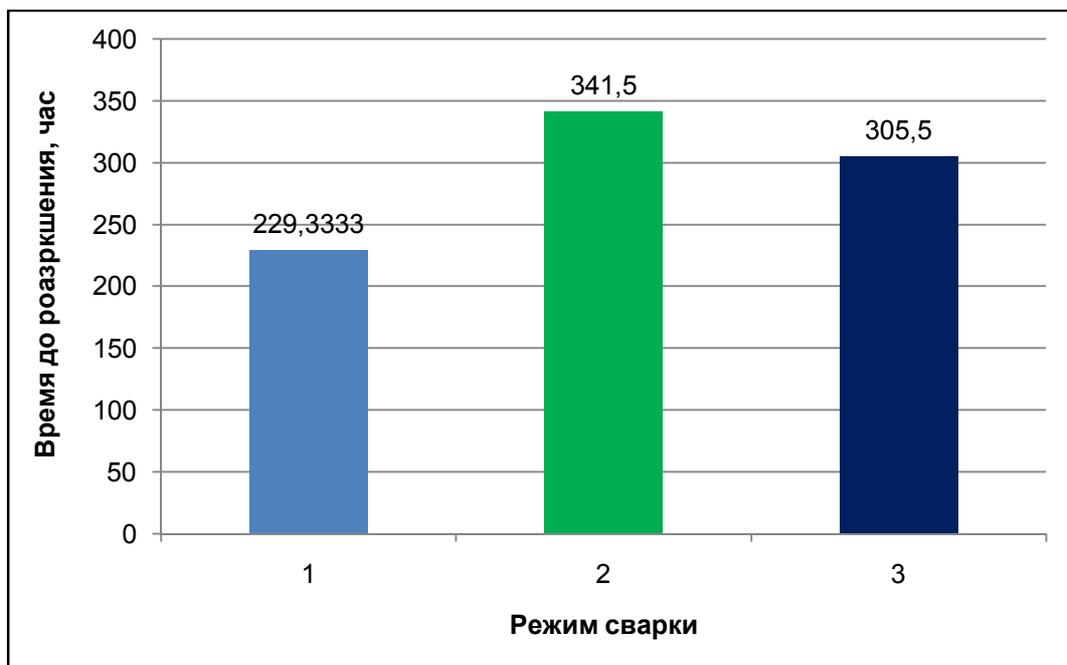


Рисунок 4.17 - Время разрушения образцов сварных раструбных соединений, полученных при различных режимах сварки

При длительных испытаниях в течение 20 суток разрушились все образцы сварных соединений, полученных при различных режимах сварки.

Выводы к главе 4

1. Время разрушения сварных раструбных соединений, полученных при низких температурах с предварительным подогревом и охлаждением соединения в теплоизоляционной камере, соответствует длительной прочности соединений стандартной сварки;
2. Время разрушения сварных раструбных соединений, полученных при низких температурах с нарушением технологического режима сварки, ниже соответствующего показателя образца со стандартной сваркой;
3. Разработаны методики определения кратковременной прочности сварного раструбного соединения и длительной прочности с использованием образца с надрезами, обеспечивающего его разрушение по сварному шву.
4. Испытаниями сварных раструбных соединений полипропиленовых (ПП) труб, произведенных при низких температурах по предлагаемой технологии с предварительным подогревом и охлаждением сварного соединения в теплоизоляционной камере, показано, что показатели кратковременной и длительной прочности соответствуют показателям соединений, полученных при допустимых температурах по регламентированным режимам сварки.
5. Испытаниями по оценке качества сварных раструбных соединений установлена эффективность разработанной технологии сварки в раструб полипропиленовых труб при низких температурах.
6. Разработаны Рекомендации по сварке систем водоснабжения из полипропиленовых труб в зимних условиях. (Приложение А).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований установлено, что при раструбной сварке полипропиленовых труб независимо от температуры окружающей среды в области шва формируется сферолитная структура.

2. При сварке в условиях отрицательных температур ОВ вследствие высокой скорости охлаждения ($V_{105-100}=75-60$, $V_{100-80}=30$ °C/мин) в участке вблизи шва и ЗТВ формируется фибриллярная или фибриллярно- сферолитная структура материала, обуславливающая низкую прочность сварного соединения.

3. Установлено, что при сварке в условиях низких температур для обеспечения прочности раструбного сварного соединения полипропиленовых труб не ниже 0,9 прочности основного материала трубы необходимо обеспечение условий формирования в участке вблизи шва и в ЗТВ сферолитной структуры с размерами сферолитов 4-5 мкм.

4. Установлено, что формирование сферолитной структуры с размерами сферолитов 4-5 мкм происходит при охлаждении материала шва со скоростью $V_{105-100}=10$, $V_{100-80}=20$ °C/мин.

5. Установлено, что при низких температурах ОВ предварительный подогрев в течение времени, определяемого расчетом, участка свариваемой в раструб трубы и соединительной муфты отдельным инструментом с температурой 50 °C и последующее их свободное охлаждение в течении расчетного времени приводит к выравниванию температурных полей в зоне термического влияния трубы и муфты до допустимой для сварки температуры и образованию сферолитной структуры при охлаждении в теплоизоляционной камере расчетных размеров.

6. Разработаны методики определения параметров предварительного подогрева (продолжительности подогрева и охлаждения для выравнивания температур), а также размеров теплоизоляционной камеры, позволяющие расчетом определять данные параметры для труб различного сортамента в интервале низких температур ОВ.

7. Разработана технология сварки полипропиленовых труб при температурах окружающего воздуха до минус 50 °С без строительства временных отапливаемых укрытий.

8. В результате анализа эффективности методов контроля качества сварных соединений установлено, что существующие испытания зачастую не выявляют нарушения технологии сварки нагретым инструментом в раструб и не дают количественную оценку прочности сварного соединения.

9. Разработана методика испытаний, позволяющая количественно определить прочностные свойства сварного раструбного соединения полимерных труб и использовать ее как метод оценки качества сварки.

10. На основе исследований соединений полипропиленовых труб, сваренных при низких температурах ОВ, и проведения кратковременных и длительных исследований прочности установлено соответствие показателей качества раструбных соединений, выполненных при низких температурах, показателям соединений, полученных при допустимых температурах воздуха.

Литература

1. Адаменко, А.А. Повышение качества соединений пластмассовых труб, выполненных контактной тепловой сваркой/ А.А. Адаменко, Г.Н. Кораб, В. П. Тарногородский. - Автоматическая сварка. – 1983. - № 3. – С. 51-53.
2. Алексеев, А.В. Состояние и перспективы развития пластмассовых трубопроводов в России / А.В. Алексеев, О.В. Глухова, А.Р. Исламов, С.М. Сергеев, А. Б. Минкевич. - Нефтегазовое дело. – 2004. - № 2. – С. 1-4
3. Аммосова, О.А. Моделирование теплового процесса сварки полимерных труб с учетом фазового перехода в интервале температур / О.А.Аммосова, Н.П.Старостин // Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции «Перспективы развития наука и образования». Ч. 7. Тамбов. 2013. С. 9–10.
4. Аммосова, О.А. Сварка полиэтиленовых труб встык при температурах воздуха ниже нормативных. Часть 1/ О.А.Аммосова, А.И.Герасимов, Н.П.Старостин. - Пластические массы.- 2008, №9.- С. 38-41.
5. Аммосова, О.А. Сварка полиэтиленовых труб встык при температурах воздуха ниже нормативных. Часть 2/ О.А.Аммосова, А.И.Герасимов, Н.П.Старостин. - Пластические массы.- 2008, №10.- С. 45-46.
6. Аммосова, О.А. Численное моделирование теплового процесса сварки полиэтиленовых труб при низких температурах.: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18: защищена 19.06.09 / О.А.Аммосова, – Якутск. - 2009. – 126 с.
7. Аудринг, В.В. Способы сварки термопластов/ В.В. Аудринг, Р.Ф. Локшин. -Пласт.массы. – 1976. - № 3. – С. 35-37.
8. Бартенев Г. М. Физика и механика полимеров : учебное пособие для вузов / Г. М. Бартенев, Ю. В. Зеленев. - Москва: Высш. шк., 1983.
9. Берштейн, В.А. Дифференциальная сканирующая калориметрия в физикохимии полимеров./В.А. Берштейн, В.М. Егоров. – Л.: Химия, 1990. – 256 с.
10. Бокарев, Д.И. Сварка пластмасс и склеивание металлов / Д.И. Бокарев. – Воронеж: Ворон. Гос. Техн. Ун-т, 2004. – 172 с.

11. Бухин, В.Е. Механические соединения пластмассовых труб / В.Е.Бухин, Б. В. Ромейко. - Трубопроводы и экология. – 2001. - № 1. - С. 25-29, 7 ил.
12. Бухин, В.Е. Перспективы применения композиционных материалов в тяжелом машиностроении / В.Е. Бухин, А.Ю. Ионова. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1990. – 50 с.
13. Бухин, В.Е. Подземные полиэтиленовые газопроводы в России / В.Е.Бухин. - Трубопроводы и экология. – 1998. - №2. – С.20-21.
14. Виндт, Б.Ф. Повышение качества сварных соединений труб из полиэтилена / Б.Ф. Виндт, И.В. Лурье. - Сварка полимерных материалов в трубопроводном строительстве: труды ВНИИСТа. – М.: ВНИИСТ. - 1985. – С. 56-70.
15. Виндт, Б.Ф. Экспериментальное исследование кинетики процесса осадки при контактной сварке встык труб из полиэтилена / Б.Ф. Виндт. - Сварка полимерных материалов в трубопроводном строительстве: труды ВНИИСТа. – М.: ВНИИСТ. - 1985. – С. 39-55.
16. Волков, С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов: Учебн. Пособие для вузов / С.С. Волков – М.: Химия, 2001. – 376 с.
17. Волков, С.С. Сварка пластмасс ультразвуком / С.С. Волков, Ю. Н. Орлов, Я.Б. Черняк. – М.: Химия, 1974. – 264 с.
18. ВСН 003-88. Строительство и проектирование трубопроводов из пластмассовых труб; введен 01.10.88. - Ротапринт ВНИИСТа 1990.
19. ВСН 440-83. Инструкция по монтажу технологических трубопроводов из пластмассовых труб; введен 01.01.84. – Москва ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР 1984.- 34с
20. ВСН 47-96. Ведомственные строительные нормы по проектированию и монтажу внутренних систем водоснабжения из полипропиленовых труб Рандом сополимер (PPRC); введен 01.08.96. - Ротапринт Мосоргстроя 1996.
21. Гисер, Е. Ш.-М. Гисер Расчет температуры закладного нагревателя при сварке полиэтиленовых труб /Гисер Е. Ш.-М./ Автоматическая сварка, 1987,

№3.- С. 31-33.

22. Гисер, Е.Ш.-М. Разработка технологии сварки полиэтиленовых труб при помощи муфт с закладным электронагревателем и исследование термонапряженного состояния сварного соединения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.06 / Е.Ш.-М. Гисер; АН УССР, Ин-т электросварки им. Е.О. Патона. – Киев. - 1990. - 16 с. - Библиогр.: с. 15-16.

23. Годовский Ю.К. Калориметрическое исследование кинетики изотермической кристаллизации изотактического полипропилена /Ю.К. Годовский, Г. Л. Слонимский. - Высокомолекулярные соединения. 1966. №3 С. 403-410

24. Годовский Ю.К. Теплофизические методы исследования полимеров /Ю.К. Годовский. - М., «Химия», 1976. – 216 с.

25. Горилловский М.П., Калугина Е.В., Иванов А.Н., Сатдинова Ф.К. Исследование кристалличности и термостабильности в трубах, полученных из различных видов полиэтилена. /М.П. Горилловский, Е.В. Калугина, А.Н. Иванов, Ф.К. Сатдинова. - Пластические массы, 2005, №5. – С. 9-12.

26. Горилловский, М.И. Состояние и перспективы развития трубопроводов в России. /М. И. Горилловский. - Трубопроводы и экология. 2003, № 4.

27. Гориславец, В.М. Динамика плавления полиэтилена в сварном соединении, получаемом при помощи муфты с закладным нагревательным элементом /В.М. Гориславец, А.Г. Таран, В.И. Обвинцев, Е. Ш.-М. Гисер.- Автоматическая сварка, 1984, №10 (379). – С. 28-32.

28. ГОСТ 26996-86. Полипропилен и сополимеры пропилена. Технические условия; введ. 01.01.1988– М.: ИПК Издательство стандартов.

29. Гринюк В.Д., Шадрин А.А., Золотарь А.В. и др. Микроструктура и качество стыковых сварных соединений полиэтилена /В.Д. Гринюк, А.А. Шадрин, А.В. Золотарь, и др.- Автоматическая сварка – 1990 - № 11 (452). – С. 23—26.

30. Гуль В. Е. Структура и механические свойства полимеров : учебное пособие для вузов / В. Е. Гуль, В. Н. Кулезнев. - Москва: Высш. шк., 1979.

31. Данзанова Е.В. Сварка полиэтиленовых труб для газопроводов при естественно низких температурах: Автореф...дис. канд. техн. наук. – Москва: РГУ им. И.М. Губкина, 2012. – 18 с.
32. Дубровкин, С.Д. Монтаж санитарно - технических устройств из полимерных материалов: практ. пособие / С.Д. Дубровкин, Ш.Л. Гольцман. – М.: Стройиздат, 1968. – 259 с.
33. Есауленко, Г.Б. Морфология сварных соединений кристаллизующихся полимеров: автореф. дис. ... канд. хим. наук 02.00.06 / Г. Б. Есауленко. – Киев. - 1987. – 16 с.
34. Зайцев, К.И. Влияние реологических процессов в контактной зоне на качество сварных соединений труб из термопластов / К.И. Зайцев, В.Е. Бухин. - Строительство трубопроводов. -1972. - № 7. – С. 14-16.
35. Зайцев, К.И. Дифференциальное исследование сварного стыкового соединения термопластов / К.И. Зайцев. - Пластические массы. – 1975. - № 4. – С.67-69.
36. Зайцев, К.И. Исследование кинетики оплавления торцов пластмассовых труб при контактной сварке / К.И. Зайцев, Б.Ф. Виндт. -Стр-во объектов нефт. и газ. Пром-сти. - 1977. - № 2. – С. 6-10.
37. Зайцев, К.И. Исследование кинетики процесса оплавления пластмассовых труб при контактной сварке / К.И. Зайцев, Б.Ф. Виндт, И.Л. Лурье. - Состояние и перспективы развития сварки и склеивания термопластов. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. - 1982. – С. 38-47.
38. Зайцев, К. И. Исследование тепловых процессов при стыковой сварке труб из термопластов / К.И. Зайцев, В.Ф. Ляшенко. - Автоматическая сварка. – 1984. - № 4. – С. 42-52.
39. Зайцев, К.И. Методика расчета глубины проплавления торцов при сварке пластмассовых труб / К.И. Зайцев, В.Ф. Ляшенко, Б. Ф. Виндт. - Автоматическая сварка. – 1984. - № 4. – С. 42-52.

40. Зайцев, К.И. Механизм образования расплавленного слоя при контактной сварке термопластов и его влияние на режимы сварки / К.И. Зайцев. - Строительство трубопроводов. – 1973. - № 5. – С.14-16.
41. Зайцев, К.И. О проблеме сооружения пластмассовых трубопроводов в нефтяной и газовой промышленности / К.И. Зайцев. - Строительство трубопроводов. – 1995. - № 5. – С.12-18.
42. Зайцев, К.И. Разработка теоретических основ технологии и оборудования для контактной тепловой сварки пластмассовых конструкций на объектах нефтяной и газовой промышленности: автореф. дис. ... д-ра.тех. наук /К.И. Зайцев. – М., 1995. – 32 с.
43. Зайцев, К.И. Расчет кинетики проплавления торцов пластмассовых труб при контактной тепловой сварке / К.И. Зайцев, В.Ф. Ляшенко, Б.Ф. Виндт. - Проектирование и строительство трубопроводов и газонефтепромысл. Сооружений / Реф. Сб. Информнефтегазостроя. - 1982. - № 8. – С. 34-37.
44. Зайцев, К.И. Сварка пластмасс при сооружении объектов нефтяной и газовой промышленности / К.И. Зайцев. – М.: Недра. - 1984.-233 с.
45. Зайцев, К.И. Сварка пластмассовых трубопроводов / К.И. Зайцев, В.Ф. Истратов, И.Ф. Ляшенко. – М.: Недра. - 1974. – 71 с.
46. Зайцев, К.И. Сварка полимерных материалов : Справочник / К.И. Зайцев, Л.Н. Мацюк, А.Г. Богдасhevский. - М.: Машиностроение. - 1988. – 312 с.
47. Зайцев, К.И. Сварка трубопроводов из термопластов. - Полимергаз, 1998, № 3, С. 42-44
48. Зайцев, К.И. Сварка трубопроводов из термопластов. - Полимерные трубы , 2003, № 1, С. 28-30
49. Зайцев, К.И. Соединение труб из полимерных материалов / К.И. Зайцев. - Строительство трубопроводов. – 1965. - № 9. – С. 4-6.
50. Зайцев, К.И. Теоретическое исследование процесса осадки при контактной сварке встык полиэтиленовых труб / К.И. Зайцев, В.Ф. Ляшенко. - Новые разработки по сварке полимерных материалов в трубопроводном строительстве: труды ВНИИСТа. – М.: ВНИИСТ. - 1990. – С. 14-21.

51. Зайцев, К.И. Тепловая сварка труб из пластических масс / К.И. Зайцев. -Пласт.массы. – 1976. - № 3. – С. 46-48.
52. Зайцев, К.И. Тепловые процессы при сварке труб из термопластов / К.И. Зайцев, В.Ф. Ляшенко. – М.: ВНИИЭГазпром. - 1970. – 38 с.
53. Зайцев, К.И. Эффективность применения пластмасс и сварных конструкций из них в нефтяной и газовой промышленности и методика расчета технологических параметров стыковой сварки / К.И. Зайцев. - Новые разработки по сварке полимерных материалов в трубопроводном строительстве: труды ВНИИСТа. – М.: ВНИИСТ. - 1990. – С. 3-13.
54. Здовбицкий, А.В. Водогазопроводные трубы и фитинги из полипропилена./А.В.Здовбицкий, В.Г.Голинский,О.Т.Курандин. -Пособие по монтажу трубопроводов. М: 1996. 46 с.
55. Иванюков, Д.В. Полипропилен./Д.В.Иванюков, , М.Л. Фридман. - Москва.: Химия, 1974. – 270 с.
56. Кайгородов, Г.К. Влияние скорости охлаждения полиэтиленового сварного шва на его прочность /Г.К.Кайгородов, , В.Ю.Каргин - Трубопроводы и экология. 2001. № 2. С. 13-14
57. Кайгородов, Г.К. Полиэтиленовые газовые сети / Г.К. Кайгородов, В.С. Логинов. – Л.: Недра. - 1991. – 111 с.
58. Каргин, В.А. Краткие очерки по физико-химии полимеров/ В.А. Каргин, Г.Л. Сломинский. - Москва.: Химия, 1967. – 34 с.
59. Каргин, В.А. Причины возникновения дефектов сварных стыковых швов полиэтиленовых трубопроводов и возможные способы их выявления / В.А. Каргин. - Трубопроводы и экология. – 2000. - № 4. – С.25-27
60. Каргин, В.А. Сварка и контроль газопроводов из полимерных материалов. В помощь сварщикам и специалистам сварочного производства / В.А. Каргин, А.Л. Шурайц. – ОАО «Приволжск.кн. изд-во». - 2003. – 330 с.
61. Катаев, Р.Ф. Сварка пластмасс: учебное пособие / Р.Ф. Катаев. - Екатеринбург:УГТУ-УПИ. - 2008. - 138 с.

62. Кашковская, Е.А. Очаги разрушения сварных соединений полиэтиленовых трубопроводов / Е.А. Кашковская, Г.К. Кайгородов. - Автоматическая сварка. – 1975. № 8. – С. 23-26.
63. Кимельблат, В.И. Проблемы нормативно-технической документации на контактную сварку полимерных труб встык / В.И. Кимельблат, И.В. Волков. - Сварка и диагностика. 2011, № 1, С. 58-61
64. Кимельблат, В.И. Рольи место обучения кадров в технологическом процессе применения полимерных труб./В.И.Кимельблат, - Полимерные трубы. 2008, № 4 (22), С. 70-78
65. Козулин А.А., Савельев Н.Л., Устюгов В.А. Напряженно-деформированное состояние в трубах, находящихся под давлением, учетом градиента температур вдоль радиуса стенки трубы /А.А.Козулин, Н.Л.Савельев, В.А.Устюгов. -Наука.Технологии. Инновации: Материалы всероссийской научной 21 конференции молодых ученых. - Новосибирск: Изд-во НТГУ, 2003.Часть 6. - С 80-81.
66. Комаров, Г.В. Выбор способа сварки полимерных материалов с учетом их свойств / Г.В. Комаров. -Пласт.массы. – 1981. - № 12. – С. 25-27.
67. Комаров, Г.В. Соединение деталей из полимерных материалов: Учеб. пособие.- Спб.: Профессия, 2006. – С. 324-434.
68. Комаров, Г.В. Классификация способов сварки пластмасс / Г.В. Комаров. -Монтаж.и спец. строит. работы. Сер. I. Монтаж оборудования и трубопроводов: Научн.-техн. реф. сб. – 1981. – вып. 5. – С. 4-8.
69. Комаров, Г.В. Способы соединения деталей из пластических масс / Г.В. Комаров. – М.: Химия, 1979. – 288 с.
70. Комаров, Г.В. Тенденции в технологиях изготовления соединений деталей из полимерных материалов и соединений с их участием / Г.В. Комаров. – Полимерные материалы. 2016, № 9, С.46-50
71. Кондратенко, В.Ю. Разработка методов экспресс-контроля качества стыковых сварных соединений труб из термопластов / В.Ю. Кондратенко, Г.Б. Есауленко, С.А. Сергиенко. - Автоматическая сварка. - 1989. - № 1. - С.41-45.

72. Кораб, Г.Н. Высокотемпературная сварка встык тонкостенных полиэтиленовых труб / Г.Н. Кораб, В. Л. Гохфельд, А.Н. Шестопал. - Автоматическая сварка. – 1985. - № 3. – С. 55-57.

73. Кораб, Г.Н. Классификация, термины и определения основных понятий сварки пластмасс / Г.Н. Кораб, В.Л. Гохфельд, А.Н. Шестопал. - Автоматическая сварка. – 1985. - №3. – С. 33-36.

74. Кораб, Г. Н. Контроль сварных соединений полиэтилена методом локального вторичного нагрева зоны шва / Г.Н.Кораб, Э.А. Минеев. - Автоматическая сварка. 1985, № 10. С. 69–71.

75. Кренцель, Б.А. Полипропилен./Б.А.Кренцель, Л.Г. Сидорова. - Киев.: Техника, 1964. – 89 с.

76. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена./С.С.Кутателадзе. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.

77. Ляшенко, В.Ф. Расчет параметров и энергоемкости процесса оплавления при контактной тепловой сварке полиэтиленовых труб / В.Ф. Ляшенко // Сварка полимерных материалов в трубопроводном строительстве: труды ВНИИСТА. – М: ВНИИСТ. - 1985. – С. 28-31.

78. Махненко, В.И. Математическое моделирование деформационных процессов при сварке полиэтиленовых труб / В.И.Е.А.Махненко, Великоиваненко, Г.Ф.Розынка, В.М.Шекера. - Автоматическая сварка, 1991, №4 (457). – С. 1-6.

79. Нестеренко Н.П. Моделирование температурных полей и напряжений в полиэтиленовых трубах при сварке нагретым инструментом/ Н.П.Нестеренко, И.К.Сенченков, О.П.Червинко, М.Г.Менжерес. - Автоматическая сварка, 2009, №2. – С. 11-15.

80. П.м. 137233 Российская Федерация МПК В29С 73/08. Насадка для ремонта полимерных труб / А.И. Герасимов; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – №2013135086/05; заявл. 25.07.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 4

81. П.м. 141868 Российская Федерация МПК G01N 3/08. Установка для испытания на длительную прочность однонаправленных полимерных

композиционных материалов / М.Н. Ларин, А.С. Мигачёв, Ю.Г. Беляев, И.И. Корнеев, А.В. Кривоногов, А.С. Марков, Н.Е. Зеленов, Р.Э. Демирбеков; заявитель и патентообладатель М.Н. Ларин, А.С. Мигачёв, Ю.Г. Беляев, И.И. Корнеев, А.В. Кривоногов, А.С. Марков, Н.Е. Зеленов, Р.Э. Демирбеков. – №2014107112/28; заявл. 25.02.2014. опубл. 20.06.2014 Бюл. № 17

82. П.м. 146589 Российская Федерация МПК G01L 1/00. Образец для испытаний / А.И. Герасимов, Г.В. Ботвин, Н.П. Старостин; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – №2014124300/28; заявл. 16.06.2014. опубл. 10.10.2014 Бюл. № 28

83. П.м. 147978 Российская Федерация МПК G01N 3/08. Установка для испытания на длительную прочность однонаправленных полимерных композиционных материалов с учётом влияния влажности среды / М.Н. Ларин, Ю.Г. Беляев, А.С. Мигачёв, Марков, Н.Е. Зеленов, Р.Э. Демирбеков; заявитель и патентообладатель М.Н. Ларин, Ю.Г. Беляев, А.С. Мигачёв, Марков, Н.Е. Зеленов, Р.Э. Демирбеков. – №2014112617/28; заявл. 01.04.2014. опубл. 20.11.2014 Бюл. № 32

84. П.м. 98972 Российская Федерация МПК В29С 65/02, 65/18 . Сварочное приспособление для соединения многослойных металлополимерных труб / А.Д. Губанов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Мордовская Трубная компания". – №2010123039/05; заявл. 07.06.2010; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 31

85. Пат. 135810 ГДР, МКИ² В 29 С 27/06. Verfahren zum Stumpfschweißen thermoplastischer Halbzeuge und Formteile / Tobias, W., H.-E. Steinicke. – опубл. 30.05.79

86. Пат. 153250 Российская Федерация МПК В29С 65/02 В29С 57/10 F16L 13/00 F16L 47/10 В82В 1/00. Модульное устройство для соединения многослойных труб, сварочный инструмент фитинга, сварочный инструмент адаптера и сварочное приспособление адаптера/ М.А. Попов, В.В. Крикотин; заявитель и патентообладатель М.А. Попов, В.В. Крикотин. – №2014125857/05; заявл. 26.06.2014; опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19

87. Пат. 2229695 Российская Федерация, МПК G01N 3/12. Установка для топределения стойкости полимерных труб / Никифоров В.Н., Козодоев Л.В., Лушников В.П., Красников М.А., Вимба В.И. Марковчук О.П.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Запсибгазпром". – №2002109803/28; заявл. 15.04.2002; опубл. 27.05.2004 Бюл. № 15

88. Пат. 2343331 Российская Федерация МПК F16L 13/00, 47/00 . Способ сварки полимерных труб / Н.П. Старостин, А.И. Герасимов, О.А. Аммосова.; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – №2006144681/06; заявл. 14.12.2006; опубл. 20.06.2008, Бюл. №17

89. Пат. 2383811 Российская Федерация МПК F16L 13/02, http://www1.fips.ru/wps/portal/IPC/IPC2014_extended_XML/?xml=http://www1.fips.ru/IPC2014_extended_XML/AIpc-20140101_subclass-F_XML\AIpc20140101-F16L.xml. Способ сварки полимерных труб / А.И. Герасимов, Н.П. Старостин, Е.В. Данзанова; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – №2008129230/06; заявл. 16.07.2008; опубл. 10.03.2010, Бюл. № 7

90. Пат. 2396478 Российская Федерация МПК F16L 13/00, 47/00. Способ сварки полимерных труб / Н.П. Старостин, О.А. Аммосова, А.И. Герасимов, Е.В. Данзанова; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – 2008149449/06; заявл. 15.12.2008; опубл. 10.08.2010, Бюл. № 22

91. Пат. 2403543 Российская Федерация МПК G01L 1/00. Способ испытания сварного стыкового соединения полимерных труб / А.И. Герасимов, Е.В. Данзанова; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – № 2009114199/28; заявл. 14.04.2009; опубл. 10.11.2010 Бюл. № 31

92. Пат. 2432517 Российская Федерация МПК F16L 25/00. Способ соединения многослойных металлополимерных труб / А.Д. Губанов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Мордовская Трубная компания". – №2010123037/06; заявл. 07.06.2010; опубл. 27.10.2011, Бюл. № 30

93. Пат. 2450202 Российская Федерация МПК F16L 47/02. Способ сварки полимерных труб / Н.П. Старостин, Г.В. Ботвин, Е.В. Данзанова .; заявитель и

патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – № 2010130131/06; заявл. 19.07.2010; опубл. 10.05.2012, Бюл. №13

94. Пат. 2450925 Российская Федерация МПК В29С 65/02, 65/18. Сварочное приспособление для соединения полимерных труб / А.Д. Губанов; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Мордовская Трубная компания". – №2010146119/05; заявл. 12.11.2010; опубл. 20.05.2012, Бюл. №14

95. Пат. 2457449 Российская Федерация МПК G01L 1/00. Способ испытания муфтового сварного соединения полимерных труб / Г.В. Ботвин, Е.В. Данзанова, Б.И. Андреев, А.И. Герасимов; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – № 2011104771/28; заявл. 09.02.2011; опубл. 27.07.2012, Бюл. № 21

96. Пат. 2458332 Российская Федерация МПК G01L 1/00. Способ испытания на отдир сварочного соединения полимерной трубы с электромуфтой./ П.В. Зарукин; заявитель и патентообладатель Зарукин Петр Валерьевич. – № [2010151947/28](#); заявл. 17.12.2010; опубл. [10.08.2012](#) Бюл. № 22

97. Пат. 2465560 Российская Федерация МПК G01L 1/00. Способ испытания прочности сварного стыкового соединения полимерных труб / А.И. Герасимов, Е.В. Данзанова, Г.В. Ботвин; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – № 2011115737/28; заявл. 20.04.2011; опубл. 27.10.2012 Бюл. № 30

98. Пат. 2615890 Российская Федерация МПК F16L 13/02. Способ сварки нагретым инструментом в раструб полимерных труб /Н. П.Старостин, О. А. Аммосова, М. А. Васильева, Г. В. Ботвин, Е. В. Данзанова; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – № 2016113937; заявл. 11.04.2016; опубл. 11.04.2017, Бюл. № 11

99. Пат. 2627170 Российская Федерация МПК G01L 1/00, G01N 3/12. Способ и образец для определения прочности муфтового сварного соединения полимерных труб /А. И. Герасимов, Н. П.Старостин, Г. В. Ботвин, Е. В.

Данзанова; заявитель и патентообладатель Ин-т проблем нефти и газа СО РАН. – № 2016116073; заявл. 25.04.2016; опубл. 03.08.2017, Бюл. № 22

100. Перепёлкин В.П. Полипропилен, его свойства и методы переработки. / В.П.Перепёлкин – Л.: ЛДНТП, 1963. – 256 с.

101. Рамбиди Н.Г. Структура полимеров – от молекул до наноансамблей: Учебное пособие / Н.Г. Рамбиди – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009.- 219с

102. Решение о выдаче патента РФ на изобретение № 2016116073 от 07.04.2017г. Способ и образец для определения прочности раструбной сварки / А.И.Герасимов, Н. П.Старостин, Г.В.Ботвин, Е.В.Данзанова; ФГБУН ИПНГ СО РАН; заяв. 25.04.2016.

103. Ромейко В.С. Трубы из полимерных материалов в системе ЖКХ. Учебное пособие./ В.С.Ромейко – М.: Учебный центр «Стройполимер», 2003.-67с.

104. Ромейко, В. С. Трубы и детали трубопроводов из полимерных материалов. – 2-е изд., перераб. и доп./ В.С.Ромейко, В.Е. Бухин и др. – М.: ТОО «Издательство ВНИИМП», 2002.-132с.

105. Самарский, А. А. Вычислительная теплопередача./А. А.Самарский, П.Н.Вабищевич. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

106. Самарский, А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры./А. А.Самарский, А. П. Михайлов. – М.: Физматлит, 2005.

107. Самарский, А.А. Теория разностных схем./А. А.Самарский – М.: Наука, 1983.- 616 с.

108. Самарский, А. А. Численные методы математической физики/А. А.Самарский, А.В. Гулин. – М.: Научный мир, 2003.

109. Сафронова, И.П. Развитие нормативной базы по сварке полимерных трубопроводов / И.П.Сафронова, Д.А.Черников. - Полимерные трубы, 2015, № 3, С.32-35.

110. СН 478-80 “Инструкция по проектированию и монтажу сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб”.

111. СНиП 3.05.05-84 Технологическое оборудование и технологические трубопроводы. введ. 01.01.1985. - Москва :ФГУП ЦПП2005. - 20 с.
112. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Утвержден Минрегион России 30.06.2012. – Минрегион России 2012. –С. 4-19.
113. СП 40-101-96 Свод правил по проектированию и монтажу трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер». Принят и рекомендован письмом Главтехнормирования Минстроя России от 9 апреля 1996 г. № 13/214.
114. СП 40-102-2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Одобрен и рекомендован к применению в качестве нормативного документа Системы нормативных документов в строительстве постановлением Госстроя России от 16.08.2000 г. № 80.
115. Старостин, Н.П. Динамика температурного поля при электромужфтовой сварке полиэтиленовых труб для газопроводов /Н.П.Старостин, М.П. Егорова, А.И.Герасимов // Пластические массы. – 2013. - №2. С. 27–30.
116. Старостин, Н. П. Контактная сварка полимерных труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Ч.1. Математическое моделирование теплового процесса /Н. П.Старостин, О.А.Аммосова. - Сварочное производство. – 2007 – - №4. – С.17-20.
117. Старостин, Н. П. Контактная сварка полиэтиленовых труб оплавлением при низких температурах окружающей среды. Ч.2. Исследование процесса охлаждения /Н. П.Старостин, О.А.Аммосова. - Сварочное производство. – 2008. - №9 – С. 31-34.
118. Старостин, Н. П. Математическое моделирование электромужфтовой сварки полиэтиленовых труб при низких температурах /Н. П.Старостин, Е. В.Данзанова, В. В.Сивцева // Сварочное производство.-2011. - №8. – С. 25-29.
119. Старостин, Н. П. Расчетно-экспериментальное определение изменения температуры стенки при вынужденном движении воздуха внутри круглой трубы /Н. П.Старостин, М. А.Васильева. - Инженерно-физический журнал, 2013. Том 86,

№6. – С. 1296-1300.

120. Старостин, Н.П. Регулирование теплового процесса муфтовой сварки полиэтиленовых труб при температурах ниже нормативных. /Н. П.Старостин, А.И.Герасимов,Е. В.Данзанова. // V Евразийский симпозиум по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата EURASTRENCOLD 2010. - Секция 3, - с.167-173.

121. Старостин, Н. П.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.

122. Старостин, Н. П. Управление тепловым процессом сварки полиэтиленовых труб при низких температурах/Н. П.Старостин, , О.А.Аммосова. - Сварочное производство, 2013, №6, - С. 16-19.

123. Стручков, А.С. Влияние низких температур на структурные изменения зоны сварного соединения газовых полиэтиленов / А.С.Стручков, Бельчусова Н.А., Сивцев Е.Я. // Полимерные композитные материалы и изделия для эксплуатации в условиях холодного климата: Труды II Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин (часть IV). - Якутск: ЯФГУ СО РАН.- 2004. - С. 218-223.

124. Стручков, А.С. Осевые температурные напряжения в полиэтиленовом трубопроводе из ПЭ80 при воздействии низких температур / А.С.Стручков, И.Н.Колодезников // EURASTRENCOLD-2002: Труды I Евразийского симпозиума (часть II). - Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН.- 2002. - С. 175-181.

125. Тарногородский, В.П. Пути повышения прочности сварных соединений труб из термопластов (обзор) / В.П. Тарногородский, Е.Ю. Пономарева // Автоматическая сварка. – 2003. - № 3. – С.41-44.

126. Тростянская Е.Б., Комаров Г.В., Шишкин В.А. Сварка пластмасс./ Е.Б.Тростянская, Г.В.Комаров, В.А Шишкин. – М.: Машгиз, 1967. – 251 с.

127. Уайт Дж. Л., Чой Д.Д. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины/Дж. Л.Уайт, Д.Д. Чой пер. с англ. яз.под ред. Е.С Цобкалло. – СПб.: Профессия, 2006. – 256 с

128. Уиллоби, Д.А. Полимерные трубы и трубопроводы: справочник: пер. с англ. / Д.А. Уиллоби, Р.Д. Вудсон, Р. Суверлэнд, пер. с англ. И науч. Ред. В.В. Ковриги. – СПб.: Префессия, 2010. -485 с. – Предм. Указ.: с. 482-485. – Пер. изд.: Plastic piping. Handbook / D.A. Willoughby, R.D. Woodson, R. Sutherland. – New York [ets], 2002.
129. Успенский, Л.К. Причины разрушения сварных соединений ПЭ-трубопроводов / Л.К. Успенский, М.Н. Кауфман // Пластические массы. – 1980. - № 9. – С.18-20.
130. Флетчер К. Численные методы на основе метода Галеркина/К.Флетчер Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 352 с.
131. Шапиро, Г.И. Пластмассовые трубопроводы / Г.И. Шапиро, С.В. Ехлаков, В.В. Абрамов. – М.: Химия. - 1986. – 144 с.
132. Шестопал, А.Н. К вопросу о терминологии и классификации сварки пластмасс / А.Н. Шестопал, В.Л. Гохфельд, Г.В. Комаров // Технология и оборудование для соединения изделий из полимерных материалов. – Киев: ИЭС им. Е.О. Патона. - 1983. – С. 9-15.
133. Fangjuan Qi, LixingHuo, Yufeng Zhang and Hongyang Jing. Study on Fracture Properties of High-density Polyethylene (HDPE) Pipe // Key Engineering Materials Vols. 261-263 (2004) pp 153-158 Online available since 2004/Apr/15 at www.scientific.net © (2004) Trans Tech Publications, Switzerland doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.261-263.153
134. J. Cazenave, R. Seguela B. Sixou, Y. Germain. Short-term mechanical and structural approaches for the evaluation of polyethylene stress crack resistance // Polymer. Vol. 47, Issue 11, 17 May 2006. Pp. 3904–3914. Special issue in honour of James McGrath
135. Microscopic aspects of surface deformation and fracture of high density polyethylene A. Dasari, R.D.K. Misra Materials Science and Engineering Group, Department of Chemical Engineering, University of Louisiana at Lafayette, P.O. Box

44130, Lafayette, LA 70504-4130, USA Received 24 July 2003; received in revised form 3 October 2003

136. Rojek M., Stabik J., Muzia G. Thermography in plastics welding processes assessment. //Journal of Achievements in Materials and manufacturing Engineering. Volume 41. Issue 1-2. July-august 2010. Pp. 40-47

137. Tarek M.A.A. El-Bagory, Hossam E.M. Sallam, Maher Y.A. Younan. Effekt of strain rate, thickness, welding on the J-R curve for polyethylene pipe materials // Theoretical and fracture Mechanics. Vol. 74. December 2014, pp. 164-180.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СВАРКЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ИЗ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ ТРУБ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ .

1. ОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ И НАЗНАЧЕНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ

1.1. Согласно нормативному документу «Свод правил по проектированию и монтажу трубопроводов из полипропилена «Рандом сополимер» (СП 40-101-96) контактную сварку полипропиленовых труб и деталей трубопровода следует проводить при температуре окружающей среды не ниже 0 ° С. Место сварки следует защищать от атмосферных осадков и пыли.

1.2. Методические рекомендации устанавливают методы определения технологических параметров и порядок проведения сварки в раструб полипропиленовых труб в зимних условиях при температурах окружающего воздуха ниже 0 °С без строительства отапливаемых сооружений.

1.3. Методические рекомендации разработаны для сварки полипропиленовых труб PPRS различных диаметров для холодного (SDR 11) и горячего (SDR 6) водоснабжения.

2. КОНТАКТНАЯ СВАРКА В РАСТРУБ ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

2.1. Трубы, доставленные на объект монтажа системы водоснабжения, хранятся в теплоизоляционных контейнерах на открытом воздухе или в помещении. Для выполнения монтажных работ трубы переносятся в контейнерах. Перед перемещением трубы рекомендуется подогреть путем подачи нагретого воздуха с температурой выше 20 и ниже 95 °С вовнутрь труб до достижения в стенке температуры выше минус 10 °С (рисунок А.1) согласно рекомендации «Методические рекомендации по транспортировке, погрузке и разгрузке полипропиленовых труб в зимних условиях.

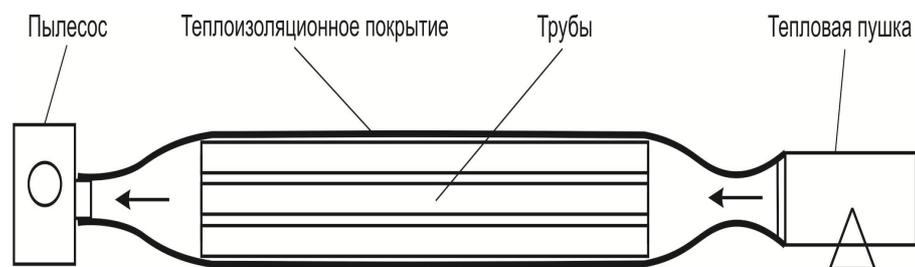


Рисунок А.1 - Схема подогрева полипропиленовых труб в теплоизоляционном контейнере

Отдельные трубы рекомендуется перемещать теплоизолированными, обеспечивая температуру на стенке трубы выше минус 10 °С.

2.2. Сварка полипропиленовых труб в раструб при температурах воздуха ниже 0°С производится серийно выпускаемым сварочным аппаратом с использованием дополнительного серийного сварочного аппарата, используемого для предварительного подогрева с минимальным значением регулирования температуры нагревательной пластины не более 50 °С.

2.3. Для обеспечения равномерного распределения температуры и снижения температурных напряжений на стенке свариваемого конца трубы и муфты необходимо предварительно подогреть трубу специальными сменными насадками для подогрева, привинчиваемыми к нагревательной пластине дополнительного сварочного аппарата, на длину вылета, превышающей глубину раструба, и муфту на глубину раструба до температуры допустимой для сварки (рис. 2).

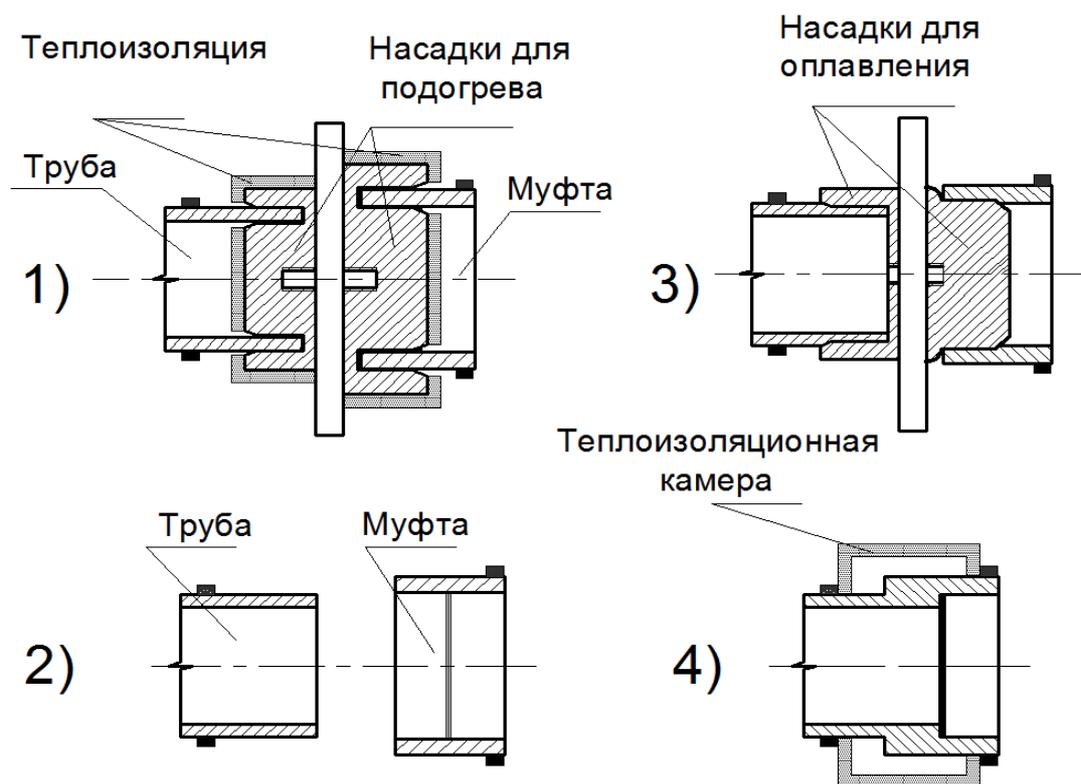


Рисунок А.2 - Технологическая схема сварка полипропиленовых труб при низких температурах: 1-2 – предварительный подогрев; 3 – оплавление; 4 – охлаждение

2.4. Сменные насадки для подогрева на внешних поверхностях, не контактирующих с нагревательной пластиной, имеют слой теплоизоляции толщиной не менее 1 см. Глубина паза сменной насадки для подогрева труб определяется по формуле:

$$l_{\text{паза}} = 1,66l_{\text{раструба}} ,$$

где $l_{\text{раструба}}$ – глубина раструба.

2.5. Сменные насадки для подогрева, в целях сокращения времени их нагрева, рекомендуется хранить при положительной температуре.

2.6. Для подогрева свариваемых концов трубы и муфты на дополнительном сварочном аппарате флажок регулятора температуры нагревательной пластины устанавливается на значении 50 °С. Перед началом подогрева нагревательная пластина с установленными сменными насадками для подогрева разогревается на открытом воздухе не менее 5 минут до достижения температуры подогрева. При этом в пазы сменных насадок для подогрева с целью ускорения достижения ими

необходимой температуры вставляется отрезок полипропиленовой трубы или муфта.

2.7. Продолжительность подогрева и свободного охлаждения для выравнивания температур свариваемых концов труб и муфт в зависимости от температуры окружающего воздуха для различных типоразмеров приведены в таблице 1 для труб холодного и горячего водоснабжения.

Расчеты продолжительностей подогрева и свободного охлаждения нагретых концов труб для выравнивания температур проведены с использованием программы для ЭВМ «PWH-Trumpet – Программа для расчета продолжительности предварительного подогрева для сварки полипропиленовых труб в раструб в условиях низких температур».

Поскольку муфта подогревается дольше, чем труба SDR 11, сначала подогревается только муфта в течение времени, равной разности расчетных продолжительностей подогрева муфты и трубы. Затем подогреваются муфта и труба. Тогда процессы подогрева и охлаждения муфты и трубы завершаются одновременно.

2.8. Нагрев (оплавление поверхности) муфты и конца свариваемой трубы производится серийным сварочным аппаратом согласно СП 40-101-96, исключая изгиб трубы, стенки которого имеют температуру ниже $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.8.1. Контактная сварка в раструб осуществляется при помощи нагревательного устройства (сварочный аппарат), состоящего из гильзы для оплавления наружной поверхности конца трубы и дорна для оплавления внутренней поверхности раструба соединительной детали или корпуса арматуры (рисунок А.3).

Таблица А.1

Продолжительности подогрева для муфты (М), труб PN10 и PN20 и их охлаждения для выравнивания температур (Охл)

Ø	Температура окружающего воздуха, °С																			
	-50				-40				-30				-20				-10			
	М	PN10	PN20	Охл	М	PN10	PN20	Охл	М	PN10	PN20	Охл	М	PN10	PN20	Охл	М	PN10	PN20	Охл
50	120	60	120	30	120	90	120	40	120	90	120	50	90	60	90	60	90	60	90	90
63	180	90	180	40	180	120	180	50	180	90	180	60	120	90	120	80	120	90	120	120
75	300	180	300	50	240	120	240	60	240	120	240	70	180	120	180	90	180	120	180	150
90	360	180	360	50	300	180	300	60	300	180	300	90	300	180	300	120	240	120	240	150
110	540	240	540	60	480	240	480	60	480	240	480	90	420	180	420	120	300	180	360	180

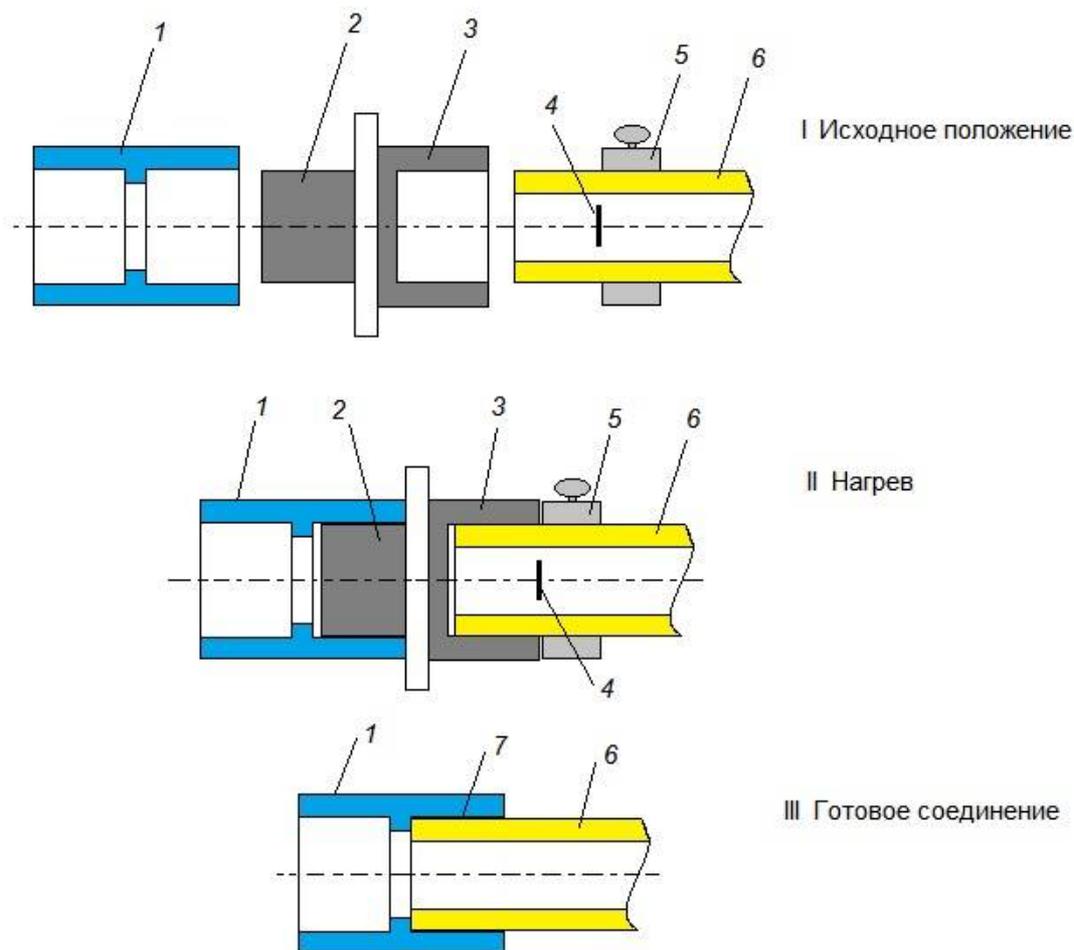


Рисунок А.3 - Последовательность процесса контактной сварки в раструб трубы и муфты из PPRC.

1 - муфта; 2 - дорн нагревательного устройства; 3 - гильза нагревательного устройства; 4 - метка на внешней поверхности конца трубы; 5 - ограничительный хомут; 6 - труба; 7 - сварной шов.

2.8.2. Контактная раструбная сварка включает следующие операции:

- на сварочном аппарате установить сменные нагреватели необходимого размера;

- включить сварочный аппарат в электросеть, рабочая температура на поверхности сменных нагревателей ($+260^{\circ}\text{C}$) устанавливается автоматически. Сигналом готовности сварочного аппарата к работе является выключение сигнальной лампочки;

- на конце трубы снять фаску под углом 30° град.;

- конец трубы и раструб соединительной детали перед сваркой очистить от пыли и грязи и обезжирить;

- на трубе нанести метку (или установить ограничительный хомут) на расстоянии от торца трубы до метки (или до края хомута), равном глубине раструба соединительной детали плюс 2 мм. Величина расстояния от торца трубы до метки для различных диаметров приведена в таблице А.2.

Таблица А.2

Наружный диаметр трубы, мм	16	20	25	32	40	50	63	75
Расстояние до метки, мм	15	17	19	22	24	27	30	32

- раструб свариваемой детали насадить на дорн сварочного аппарата, а конец вставить в гильзу до метки (до ограничительного хомута);

- выдержать время нагрева (см. таблицу А.3), после чего снять трубу и соединительную деталь с нагревателей, соединить друг с другом и охладить сварное соединение под теплоизоляционной камерой.

Таблица А.3

Диаметр трубы, мм	Время нагрева, с	Технологическая пауза не более, с	Время охлаждения, мин.
16	5	4	2
20	6	4	2
25	7	4	2
32	8	6	4
40	12	6	4
50	18	6	4
63	24	8	6
75	30	8	6
90	40	8	8

После каждой сварки необходима очистка рабочих поверхностей дорна и гильзы нагревательного устройства от налипшего материала.

2.8.3. Время технологических операций сварки приведено в таблице А.3 (при температуре наружного воздуха +20 ° С).

2.8.4. При выполнении технологической операции «нагрев» не допускается отклонение осевой линии трубы от осевой линии нагревательного устройства более чем на 5 град. (рисунок А.4). Для диаметров труб более 32 мм, в случае если длина участка трубы более 2 м, необходимо использовать дополнительные подставки, обеспечивающие соосность трубы и нагревательного устройства.

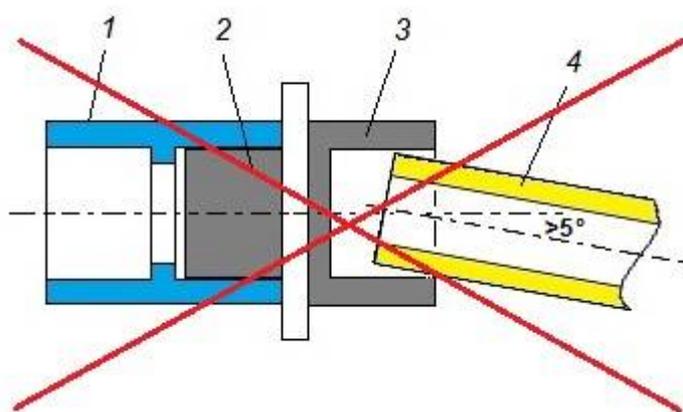


Рисунок А.4 Отклонение от осевой линии сварного раструбного соединения.

2.8.5. Во время охлаждения запрещается производить любые механические воздействия на трубу или соединительную деталь после сопряжения их оплавленных поверхностей с целью более точной установки.

2.8.6. Внешний вид сварных соединений должен удовлетворять следующим требованиям:

- отклонение между осевыми линиями трубы и соединительной детали в месте стыка не должно превышать 5 °;
- наружная поверхность соединительной детали, сваренной с трубой, не должна иметь трещин, складок или других дефектов, вызванных перегревом деталей;

- у кромки раструба соединительной детали, сваренной с трубой, должен быть виден сплошной (по всей окружности) валик оплавленного материала, слегка выступающий за торцевую поверхность соединительной детали.

2.9. При сварке полипропиленовых труб при температурах окружающего воздуха в диапазоне от 0 до -10 °С рекомендуется повысить температуру нагревательной пластины на 5 градусов и в интервале от -50 до -10 °С повысить температуру пластины на 10 °С от рекомендуемых нормативными документами при допустимых температурах ОВ.

2.10. Охлаждение сварного соединения производится под теплоизоляционной камерой, размеры которой рассчитываются с помощью программы для ЭВМ «Weld- Trumpet – Программа для определения толщины теплоизоляции при сварке полипропиленовых труб в раструб при низких температурах» в зависимости от свойств теплоизоляционного материала и температуры окружающего воздуха. На рис. А.5 приведена схема теплоизоляционной камеры.

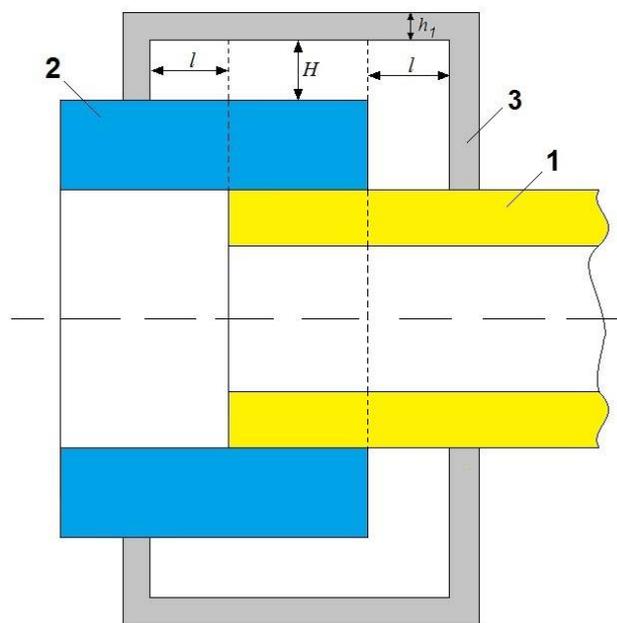


Рисунок А5. Схема теплоизоляционной камеры:
1 – стенка трубы; 2 – стенка муфты; 3 – стенка камеры.

Размеры теплоизоляционных камер, изготовленных из вспененного полиэтилена с коэффициентом теплопроводности 0,035 Вт/(м °С), для сварки

полипропиленовых труб различного типоразмера в интервале температур окружающего воздуха (-50, 0) °С приведены в таблице А.4.

Таблица А.4

Размеры теплоизоляционной камеры для труб SDR 11 и SDR 6

Ø	Воздушная прослойка, см (<i>H</i>)	Воздушная прослойка, см (<i>l</i>)	Толщина стенки камеры, см (<i>h₁</i>)
50	2	2	2
63	2	2	2
75	2-4	2	2
90	2-4	2	2
110	2-4	2	2

Высота воздушной прослойки для труб диаметром 75-110 мм выбирается как можно большей в интервале 2-4 см, исходя из возможности установки теплоизоляционной камеры на свариваемых трубах, фиксированных на позиционере.

2.11. Продолжительность охлаждения раструбного сварного соединения в теплоизоляционной камере приводится в таблице А.3.

УВЕРЖДАЮ

Врио директора ИПНГ СО РАН


 М.Д.Соколова
 2017 г.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. генерального директора ПАО


 А.С.Слоик
 2017 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Заместитель генерального директора по инновациям и развитию ПАО «Якутскэнерго» А.Ф.Саначев, представитель ПАО «Якутскэнерго», с одной стороны, и представители Института проблем нефти и газа СО РАН в.н.с А.И.Герасимов, с.н.с. О.А.Аммосова, с.н.с. М.А.Васильева, с.н.с. Е.В.Данзанова, вед. инженер Г.В.Ботвин, с другой стороны, составили настоящий акт о принятии к использованию результатов законченной научно-исследовательской работы по договору №12-НИОКР/УИР от 03.10.2014 г. «Исследование образцов трубопроводов из коррозионностойких материалов, включая полимерные, с целью разработки нормативной документации к применению в системах ГВС в условиях надземной прокладки».

Выполнение вышеуказанной работы начато в октябре 2014 г. и окончено декабре 2015 г. Основные результаты работы: Разработаны рекомендации содержащие правила по установке дренажей и пожарных гидрантов на трубопроводах PPRS, условия прокладки трубопроводов PPRS с трубами отопления распределительных сетей надземной прокладки в условиях Крайнего Севера, а также приведены общие правила к способам хранения и транспортировки аварийного запаса трубопроводов PPRS при значениях температур окружающего воздуха ниже нормативных, рассмотрены вопросы аварийного ремонта на открытом воздухе при отрицательных температурах, приведены расчетное время оттаивания замерзших трубопроводов PPRS холодного водоснабжения и время их повторного замерзания.

Результаты работы приняты к использованию в ПАО «Якутскэнерго».

От ИПНГ СО РАН
 Научный руководитель


 Герасимов А.И.
 Исполнители

 Аммосова О.А.

 Васильева М.А.

 Данзанова Е.В.

 Ботвин Г.В.

От ПАО «Якутскэнерго»
 Заместитель генерального
 директора по инновациям и развитию


 Саначев А.Ф.

Протоколы испытаний

ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 677007, г. Якутск, Автодорожная, 20

УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ИПИГ СО РАН

д.т.н., проф. Попов С.Н.



МП

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 1

« 11 » декабря 2014 г.

Всего листов 1

Наименование испытуемого объекта Раструбное сварное соединение полипропиленовых труб ППРЗ Ø40

Название испытания Стойкость при постоянном внутреннем давлении

НД на испытание ГОСТ Р 52134-2003, ГОСТ 24157-80

Изготовитель-заказчик (наименование, адрес) Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по инновационной политике и науке

Дата поступления на испытание 3 декабря 2014г.

Срок проведения испытания 7 дней

Результаты испытаний:

№	Режим сварки	Время испытания	Результат
1	T= -16°C. Время нагрева увеличено на 50% от стандартного	1000ч	выдержал
2	T= -35°C. Предварительный подогрев, остывание с теплоизоляцией.	1000ч	выдержал
3	T= -40°C. Предварительный подогрев, остывание без теплоизоляции.	1000ч	выдержал
4	T= +23°C. Стандартная сварка.	1000ч	выдержал

Примечание: Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.
 Передача протокола или его копий другим лицам и организациям без разрешения заказчика и заведующего лабораторией не допускается.

Ответственный исполнитель

подпись

/Бобкин Г.В. /
 расшифровка подписи

ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 677007, г. Якутск, Автоторожная, 20

УТВЕРЖДАЮ: 
 Зам. директора ИНИГ СО РАН
 д.т.н. проф. Попов С.Н.



МП

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 2

“ 18 “ декабря 2014 г.

Всего листов 1

Наименование испытываемого объекта Труба полипропиленовая ППРЗ PN10 Ø 40

Название испытания Испытания на осевое растяжение

НД на испытание ГОСТ 11262-80

Изготовитель-заказчик (наименование, адрес) Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по инновационной политике и науке

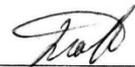
Дата поступления на испытание 10 декабря 2014 г.

Срок проведения испытания 7 дней

Результаты испытаний:

№	Температура испытания	Среднее значение при разрыве	
		δ, МПа	L, %
1	T= -20°C	48,315	13,257
2	T= -10°C	41,441	35,246
3	T= -5°C	39,785	62,639
4	T= 0°C	35,283	54,535
5	T= 10°C	31,149	114,66
6	T= 20°C	25,521	471,58
7	T= 40°C	18,898	
8	T= 80°C	10,566	
9	T= 95°C	8,084	

Примечание: Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.
 Передача протокола или его копий другим лицам и организациям без
 разрешения заказчика и заведующего лабораторией не допускается.

Ответственный исполнитель 
 подпись

1 Бордин Г.В.
 расшифровка подписи

ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 677007, г. Якутск, Автоторожная, 20



МП

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 3

" 10 " февраля 2015 г.

Всего листов 1

Наименование испытуемого объекта Раструбное сварное соединение полипропиленовых труб ППРЗ Ø63

Название испытания Испытания на осевое растяжение по новой методике

НД на испытание ГОСТ 11262-80, ГОСТ Р 55142-2012

Изготовитель-заказчик (наименование, адрес) Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по инновационной политике и науке

Дата поступления на испытание 2 февраля 2015г.

Срок проведения испытания 7 дней

Результаты испытаний:

№	Режим сварки	Среднее значение при разрыве	
		δ, МПа	L, %
1	T= -16°C. Время нагрева увеличено на 50% от стандартного	16,04	18,53
2	T= -35°C. Предварительный подогрев, остывание с теплоизоляцией.	19,2	21,14
3	T= -40°C. Предварительный подогрев, остывание без теплоизоляции.	17,06	22,39
4	T= +23°C. Стандартная сварка.	18,8	17,89

Примечание: Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям. Передача протокола или его копий другим лицам и организациям без разрешения заказчика и заведующего лабораторией не допускается.

Ответственный исполнитель _____

подпись

Губкин Г. В.
расшифровка подписи

ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 677007, г. Якутск, Автодорожная, 20

УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора ИПНГ СО РАН

д.т.н., проф. Попов С.Н.



МП

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 4

“ 14 “ апреля 2015 г.

Всего листов 1

Наименование испытуемого объекта Раструбное сварное соединение полипропиленовых труб ППРЗ Ø63

Название испытания Испытание на отдир

НД на испытание ВСН 440-83

Изготовитель-заказчик (наименование, адрес) Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по инновационной политике и науке

Дата поступления на испытание 6 апреля 2015г.

Срок проведения испытания 7 дней

Результаты испытаний:

№	Режим сварки	Характер разрушения
1	T= -16°C. Время нагрева увеличено на 50% от стандартного	По материалу трубы
2	T= -35°C. Предварительный подогрев, остывание с теплоизоляцией.	По материалу трубы
3	T= -40°C. Предварительный подогрев, остывание без теплоизоляции.	По материалу трубы
4	T= +23°C. Стандартная сварка.	По материалу трубы
5	T= -19°C, Время нагрева увеличено на 50% от стандартного	По материалу трубы

Примечание: Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.
 Передача протокола или его копий другим лицам и организациям без разрешения заказчика и заведующего лабораторией не допускается.

Ответственный исполнитель


подпись


расшифровка подписи

ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 677007, г. Якутск, Автодорожная, 20

УТВЕРЖДАЮ: 

Зам. директора ИПНГ СО РАН

д.т.н., проф. Попов С.Н.



МП _____

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 5

" 10 " апреля 2015 г.

Всего листов 1

Наименование испытываемого объекта Раструбное сварное соединение полипропиленовых труб ППРЗ Ø63

Название испытания Предварительное гидравлическое испытание

НД на испытание СП 40-102-2000

Изготовитель-заказчик (наименование, адрес) Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по инновационной политике и науке

Дата поступления на испытание 3 апреля 2015г.

Срок проведения испытания 7 дней

Результаты испытаний:

№	Режим сварки	Время испытания	Испытательное давление	Результат
1	T= -16°C. Время нагрева увеличено на 50% от стандартного	0,5ч	0,9МПа	выдержал
2	T= -35°C. Предварительный подогрев, остывание с теплоизоляцией.	0,5ч	0,9МПа	выдержал
3	T= -40°C. Предварительный подогрев, остывание без теплоизоляции.	0,5ч	0,9МПа	выдержал
4	T= +23°C. Стандартная сварка.	0,5ч	0,9МПа	выдержал
5	T= -19°C, Время нагрева увеличено на 50% от стандартного	0,5ч	0,9МПа	выдержал

Примечание: Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям. Передача протокола или его копий другим лицам и организациям без разрешения заказчика и заведующего лабораторией не допускается.

Ответственный исполнитель _____



подпись



расшифровка подписи

ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 677007, г. Якутск, Автодорожная, 20

УТВЕРЖАЮ: 
 Зам. директора ИЦНГ СО РАН
 д.т.н., проф. Попов С.Н.



МП _____

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ № 6

“ 17 “ апреля 2015 г.

Всего листов 1

Наименование испытуемого объекта Раструбное сварное соединение полипропиленовых труб ППРЗ Ø63

Название испытания Испытания на сдвиг сжатием

НД на испытание ВСН 440-83

Изготовитель-заказчик (наименование, адрес) Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по инновационной политике и науке

Дата поступления на испытание 8 апреля 2015г.

Срок проведения испытания 7 дней

Результаты испытаний:

№ образца	Режим сварки	Нагрузка, Н	Разрушающее напряжение, МПа
1	-19°C, время нагрева +50% 36сек	45600	15,88
2	+13°C, стандартная, 24сек	43467	15,33
3	-19°C, время нагрева 24сек	44067	15,48
4	+1°C	48000	16,74
5	+1°C	48300	17,21
6	-22°C, время нагрева 36 с	44900	16,46
7	-22°C, предварительный подогрев, без изоляции	41100	15,64
8	-22°C, предварительный подогрев, с изоляцией	41900	15,48
9	+22°C дефект 20мм	39650	13,48
10	+22°C дефект 40мм	35200	12,34
11	+22°C дефект 60мм	33050	11,45

Примечание: Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.
 Передача протокола или его копий другим лицам и организациям без разрешения заказчика и заведующего лабораторией не допускается.

Ответственный исполнитель _____



подпись



расшифровка подписи

ЛАБОРАТОРИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ
Института проблем нефти и газа Сибирского отделения Российской академии наук

Адрес: 677007, г. Якутск, Автодорожная, 20



УТВЕРЖДАЮ:

Зам. директора ИПНГ СО РАН

д.т.н., проф. Попов С.Н.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЯ №7

“ 29 “ сентября 2015 г.

Всего листов 1

Наименование испытуемого объекта Раструбное сварное соединение полипропиленовых труб ППРЗ Ø63

Название испытания Испытание на длительное растяжение в активной среде

НД на испытание ГОСТ 55142-2012, ГОСТ 11262-80

Изготовитель-заказчик (наименование, адрес) Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по инновационной политике и науке

Дата поступления на испытание 14 сентября 2015г.

Срок проведения испытания 14 дней

Результаты испытаний:

№	Режим сварки	Время до разрушения, час
1	T= -16°C. Время нагрева увеличено на 50% от стандартного	115
2	T= -40°C. Предварительный подогрев, остывание с теплоизоляцией.	191
3	T= -40°C. Предварительный подогрев, остывание без теплоизоляции.	314,5
4	T= +23°C. Стандартная сварка.	174,5

Примечание: Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям.
 Передача протокола или его копий другим лицам и организациям без разрешения заказчика и заведующего лабораторией не допускается.

Ответственный исполнитель _____

подпись

расшифровка подписи