

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

(наименование кафедры)

15.04.01. «Машиностроение»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

«Производство и ремонт сварных конструкций газонефтехимического  
оборудования»

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование влияния параметров режимов сварки нагретым  
инструментом на свойства сварных соединений полимерных труб

Студент

Ф.Ф. Сультеева

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

к.т.н., доцент, О.В. Шашкин

руководитель

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

Тольятти 2022\_\_

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение .....  | 3  |
| 1 Применение пластмасс при строительстве трубопроводов .....  | 6  |
| 1.1 Материалы, используемые для изготовления труб .....   | 6  |
| 1.2 Физико-химические основы строения полимеров .....   | 7  |
| 1.3 Пластические массы.....   | 11 |
| 1.4 Технологические свойства пластмасс .....  | 14 |
| 1.5 Физико-химические основы переработки пластмасс .....  | 15 |
| 1.6 Анализ физических процессов, протекающих при тепловой сварке полимерных материалов. ....                        | 18 |
| 1.7 Оборудование для сварки нагретым инструментом.....  | 20 |
| 1.8 Технология получения неразъемных соединений при сварке полимеров с использованием нагретого инструмента.....    | 25 |
| 1.8.1 Особенности стыковой сварки .....   | 38 |
| 1.8.2 Особенности сварки труб в раструб.....  | 40 |
| 1.8.3 Технологические режимы сварки полиэтиленовых труб встык.....  | 43 |
| 1.8.4 Контроль качества сварных соединений полиэтиленовых труб.....   | 44 |
| 1.8.5 Оборудование для проведения экспериментов .....   | 51 |
| 1.8.6 Механические свойства сварных соединений полиэтиленовых труб, выполненных сваркой встык .....                 | 54 |
| 2 Методика проведения исследований .....  | 67 |
| 2.1 Проведение механических испытаний.....  | 68 |
| 3. Влияние режимов сварки на качество формирования сварных соединений из полипропиленовых труб и их прочность. .... | 72 |
| 4 Анализ полученных результатов и разработка технологических рекомендаций по сварке полипропиленовых труб.....      | 78 |
| Заключение .....  | 80 |
| Список используемой литературы .....  | 81 |

## Введение

Стальные трубопроводы систем водоснабжения и газоснабжения часто становятся источником серьезных экологических проблем. Для всех видов трубопроводов наиболее характерными эксплуатационными нарушениями являются разгерметизация и зарастание внутреннего сечения трубопровода, а также подверженность коррозии.

Сквозная ржавчина, трещины в стенке или неплотности в соединениях трубопроводов приводят к утечкам, вытекающая вода размывает грунт вокруг трубы, а также приводит к утечке газов и иным проблемам при эксплуатации трубопроводов. Результат: подтопление подвалов, провалы грунта, повреждение фундаментов зданий, потери энергоресурсов и иных осложнений.

Что касается питьевой воды, проблема решается хлорированием в городских очистных сооружениях. Но соединения хлора несут еще большую опасность: злокачественные образования, снижение иммунитета. Однако, при таком плачевном состоянии водопроводных сетей мы никогда не откажемся от хлорирования и гиперхлорирования, слишком велика вероятность вторичного загрязнения воды, загрязнения при транспортировании ее по нашим стальным трубопроводам [11, 25].

А по отношению к углеводородам или иным газам, данный метод не подходит. И проблемы, вызываемые с коррозией трубопроводов, несут совершенно другие последствия, например, такие как взрывы и утечки газов.

Исследования научных организаций и многолетний мировой опыт свидетельствуют, что наиболее перспективным решением в настоящее время является применение полимерных трубопроводов. Они не ржавеют, не зарастают и не теряют герметичности. В России же большинство водопроводных систем построено из стальных труб и давно перестали отвечать современным требованиям.

Описывая спады и подъемы в трубной промышленности России, прогнозируя рост потребления труб, анализируя причины, сдерживающие этот рост, мы часто упускаем из вида тот факт, что прошедшие десятилетия, на которые пришлось основные процессы реструктуризации трубной отрасли, было ознаменовано существенным прогрессом в разработке и использовании альтернативных стали материалов, в первую очередь полимеров, и в частности полиэтилена и полипропилена.

Использование этих материалов в бытовых и промышленности уже никого не удивить. Научились монтировать, укладывать и эксплуатировать полимерные трубопроводы много десятилетий назад.

За время освоения и внедрения данных материалов в качестве альтернативных металлам выпущены не одни научно-обоснованные работы по сварке полиэтилена и полипропилена. Даже изготовлены специальные сварочные аппараты, отдельные по способам сварки и типу материала.

На сегодняшний день полиэтиленовые трубы принято сваривать нагретым инструментом встык, тогда как полипропилен сваривают, чаще всего, внахлест.

Для сварки полиэтиленовых трубопроводов разработан и успешно применяется целый ряд специализированного оборудования, позволяющего выполнять стыковую сварку трубопроводов диаметром 1200 мм и выше. В связи расширением номенклатуры применяемых труб из полипропилена (PP) и увеличением их диаметра становится актуальным вопрос применения данного оборудования для сварки полипропиленовых труб большого диаметра. Исходя из этого, возникает вопрос расширения области применения существующего оборудования применительно к новому материалу. В известных литературных источниках сведения о технологических параметрах сварки полипропилена нагретым инструментом встык, позволяющих получать качественные соединения, весьма ограничены.

Опираясь на эти данные и предлагая свои, будем проводить сварку встык полиэтиленовых и полипропиленовых труб. В конце работы хочется

получить результат, который нас будет удовлетворять и позволит решить главную цель магистерской работы.

Цель работы: повышение качества сварных соединений полипропиленовых труб, выполненных сваркой нагретым инструментом встык путем определения оптимальных параметров и режимов сварки.

Цель не нова для мира сварки. Работа интересна с разных сторон, а именно распространяя возможности оборудования могут выявиться новые возможности материала или же проявиться давно известные.

Производители сварочного оборудования дают рекомендации по сварке полипропиленовых труб встык на оборудовании разработанного для полиэтилена. Опытным путем докажем или опровергнем, а может даже предложим новые режимы для сварки полипропилена.

# **1 Применение пластмасс при строительстве трубопроводов**

## **1.1 Материалы, используемые для изготовления труб**

Пластмассы - материалы на основе органических природных, синтетических или органических полимеров, из которых можно после нагрева и приложения давления формовать изделия сложной конфигурации.

Полимеры - это высокомолекулярные соединения, состоящие из длинных молекул с большим количеством одинаковых группировок атомов, соединенных химическими связями. Кроме полимера в пластмассе могут быть некоторые добавки [24,43].

Переработка пластмасс - это множество технологических процессов, применяющихся для получения изделий - деталей с заданными конфигурацией, точностью и эксплуатационными свойствами. Если технологические процессы изготовления пластмасс будут соответствовать заданным эксплуатационным требованиям, а именно: электрической и механической прочности, диэлектрической проницаемости и т.д., то мы можем получить изделия высокого качества. При переработке пластмасс в условиях массового производства для обеспечения высокого качества изделий принимают специалисты разного профиля: материаловеды, технологи. Материаловедам нужно правильно выбрать тип и марку полимера, таким образом, чтобы обеспечить возможность формования изделия с заданными конфигурацией и эксплуатационными свойствами. У технологов другие задачи - они включают в себя всю совокупность вопросов технологии переработки полимеров, обеспечивающих качество изделия: подготовку полимеров к формованию, разработку-определение технологических параметров формования, разработку инструмента, выбор оборудования [35].

В основе любого выбора материала для работ используется многогранный подход, проходящий через анализ среды эксплуатации

материала. Возможность преждевременно смоделировать условия, при которых материал будет работать и просчитать возможные риски, при которых полимерный материал не сможет выполнять поставленные перед ним задачи. Не маловажным условием является способ получения пластмасс. В некоторых случаях необходимо проанализировать и предугадать различные аварийные ситуации, которые могут возникать при эксплуатации изделия и на их основе, а ещё лучше «научить» полимер с ними справляться с наименьшими для себя последствиями. Конечно всего не предугадать, но наука позволяет некоторые из них заблаговременно преодолеть и создать материалы способные выдерживать различные «удары».

Современная наука может многое и одним из её преимуществ - это возможность сочетать несочетаемое и в последствии использовать эти удивительные качества во благо человечества. На ряду с теоретическими методами всегда используются смоделированные реальные условия, при которых изделие будет эксплуатироваться. Благодаря такому подходу изделие или даже просто материал уже на этапе создания может гарантировать необходимые свойства. Методы конструирования, испытания и тем более отладки очень востребованы и актуальны. Это в первую очередь спасает нас от ошибок при эксплуатации, а иногда даже могут предотвратить фатальные последствия [34].

## **1.2 Физико-химические основы строения полимеров**

Полимеры очень сложные по составу молекулы. Они состоят из многочисленных групп атомов и могут образовывать молекулы намного превышающих исходные мономеры. Такие макромолекулы значительно превышают по прочности исходные звания из которых могут состоять. Чем более многочисленнее по отношению к исходному состоянию макромолекула, тем более прочен материал и более стоек к действию нагрева и растворителей. Из-за невозможности эффективной переработки

малоплавкого и труднорастворимого полимера в ряде случаев получают сначала полуфабрикаты- полимеры со сравнительно низкой молекулярной массой- олигомеры, легко доводимые до высоко молекулярного уровня при дополнительной тепловой обработке одновременно с изготовлением изделия.

В зависимости от состава различают группы полимерных соединений:

- гомополимеры- полимеры, состоящие из одинаковых звеньев мономеров;
- сополимеры- полимеры, состоящие из разных исходных звеньев мономеров;
- элементоорганические - соединения с введенными в главную цепь или боковые цепи атомами кремния (кремнийорганические соединения), бора алюминия и др. Эти соединения обладают повышенной теплостойкостью [16].

По форме молекул полимеры очень отличаются. Они могут быть линейными, разветвленными. Те же в свою очередь могут быть плотно упакованными или наоборот могут иметь более рыхлую структуру. Так же бывают полимеры с шитой или лестничной (сетчатой) структурой. А ещё могут быть трехмерной структурой, то есть молекулы могут быть поперечными связями [4].

Органические полимеры очень интересны не только с точки зрения изучения их необычных свойств, но и сама структура макромолекулы очень изобретательна в своих формах и структурах. Они могут быть гибкими либо же наоборот иметь достаточно жесткую макромолекулу. Различные способы укладки молекул внутри макроструктуры тоже играет не маловажную роль в появлении новых свойств в материале.

На участках складывания образуются домены, а домены создают фибриллы, связанные проходными участками. Несколько доменов, соединяясь по плоскостям складывания, образуют первичные структурные элементы- кристаллы, из которых при охлаждении расплава возникают пластинчатые структуры - ламели. В процессе складывания ламелей концы



молекул могут находиться в разных плоскостях; иногда эти концы молекул частично возвращаются в начальную плоскость - в этом случае они создают петли [14].

Замечена интересная закономерность между химическим составом и полученными свойствами особенно массы. Самые простые физические свойства полимерного материала может меняться в широком диапазоне. Изменение внешних условий тоже ведет к изменениям свойств как на коротком промежутке времени, так на постоянной основе. Последние изменения называются необратимыми и не всегда могут нести положительные или нужные свойства в себе [4].

В основе многие свойства полимеров имеют способность самовостанавливаться при создании определенных подходящих для этих переходов условий. Все эти условия работают при одном необходимом принципе, главное не создать условия, при которых полимер не будет разрушаться. «Полимеры в твердом состоянии могут быть аморфными и кристаллическими. При нагревании аморфного полимера наблюдают три физических состояния: стеклообразное, высокоэластичное и вязкотекучее. Эти состояния устанавливаются на основании кривой термомеханического состояния. Аморфный полимер находится ниже температуры стеклования ( $T_g$ ) в твердом агрегатном состоянии. При температуре выше  $T_g$  полимер находится в высокоэластичном состоянии; молекулярная подвижность при этом становится настолько большой, что структура в ближнем порядке успевает перестраиваться вслед за изменением температуры, а макромолекулы могут изгибаться под действием внешних сил. Общая деформация складывается в этом случае из упругой и запаздывающей высокоэластичной деформации. При упругой деформации изменяются средние межцентровые, межмолекулярные расстояния и валентные углы в полимерной цепи, при высокоэластичной деформации изменяется ориентация и перемещаются на значительные расстояния звенья гибких цепей» [14].

«Кристаллизующийся полимер в зависимости от скорости охлаждения расплава полимера может проявлять два вида структур аморфную и кристаллическую. При медленном охлаждении кристаллизующихся полимеров совместная укладка отрезков макромолекул образует структуру макромолекул. Это затрудняет переход их из одной конформации в другую, из-за чего отсутствует гибкость макромолекул и нет высокоэластичного состояния. При быстром охлаждении кристаллические структуры не успевают полностью сформировываться и поэтому имеется между ними в переохлажденном полимере “замороженная” - аморфная структура. Эта аморфная структура при повторном нагреве до температуры выше температуры плавления ( $T_{пл}$ ) создает вязкотекучее состояние. У кристаллической структуры полимера два состояния: кристаллическое (до температуры плавления) и вязкотекучее (выше температуры плавления)» [32].

«Вязкотекучее состояние, характерное для аморфного и кристаллического состояния полимера, в основном, обеспечивает при течении полимера необходимые деформации путем последовательного движения сегментов. Вязкость полимера увеличивается с увеличением молекулярной массы полимера, увеличивается также при этом и давление формования изделий. Отличие прежде всего заключается в полном прекращении при температуре полимеризации деформации терморезактивных полимеров, у термопластов при температуре выше температуры  $T_T$  деформация увеличивается. В заключении отметим, что с увеличением температуры до некоторой величины у полимерного материала начинается процесс термодеструкции- разложения материала» [24].

Свойства полимеров, определяющие качество в процессе переработки:

а) реологические:

- вязкостные, определяющие процесс вязкого течения с развитием пластической деформации;

- высокоэластичные, определяющие процесс развития и накопления обратимой высокоэластичной деформации при формовании;
  - релаксационные, определяющие релаксацию (уменьшение) касательных и нормальных напряжений, высокоэластичной деформации и ориентированных макромолекулярных цепей;
- б) стойкость полимеров к термоокислительной, гидролитической и механической деструкции в процессе формования под действием температуры, кислорода, влаги, механических напряжений;
- в) теплофизические, определяющие изменение объема, нагрев и охлаждение изделия в процессе формования и фиксирования формы и размеров;
- г) влажность, определяющая текучесть материала при формовании и качество изделия (вызывает гидролитическую деструкцию при формовании);
- д) объемные характеристики сыпучих материалов в твердом состоянии (насыпная масса, сыпучесть, гранулометрический состав). Вязкостные свойства расплава полимеров. Формование изделий из полимеров осуществляют в процессе их вязкого течения, сопровождающегося пластической деформацией [33].

### **1.3 Пластические массы**

Пластические массы классифицируются по различию свойств, назначения для эксплуатации.

Классификация пластмасс по эксплуатационному назначению:

- по применению;
- по совокупности параметров эксплуатационных свойств;
- по значению отдельных параметров эксплуатационных свойств.

По применению пластические массы бывают для работы при кратковременной или длительной механической нагрузке:

стеклонаполненные композиции полипропилена (ПП), этролы, пентапласт, полисульфон(ПСФ), полиимид (ПИ), материалы на основе кремнийорганических соединений и др.

Только одними лишь нагрузками применение пластических масс не ограничивается. Так же их классифицируют для работы при низких температурах (до минус 40-60° С): полиэтилены (ПЭ), сополимеры этилена (СЭП, СЭБ, СЭВ), полипропилен морозостойкий, фторопласт (ФТ), полисульфон (ПСФ), полиимиды (ПИ) и др.;

А ещё имеются пластические массы антифрикционного назначения: фторопласты (ФТ), полиимиды (ПИ), текстолиты, полиамиды, фенопласты, полиформальдегид (ПФ) и др.;

Не мало известны пластмассы электро- и радиотехнического назначения: полиэтилены (ПЭ), полистиролы (ПС), фторопласты (ФТ), полисульфон (ПСФ), полиимиды, отдельные марки эпоксидных и кремнийорганических материалов и др.;

Нельзя обходить стороной пластмассы, имеющие «прозрачность». Они нужны для получения прозрачных изделий: полистирол ПС, прозрачные марки фторопласта (ФТ), полиамидов, полисульфон (ПСФ), эпоксидные смолы и др.;

Конечно же оставлять без внимания нельзя пластические массы имеющие тепло- и звукоизоляционные свойства: газонаполненные материалы на основе полиэтилена (ПЭ), полистирола (ПС), поливинилхлорида (ПВХ), полиуретана (ПУР), полиимида (ПИ), фенопласта, аминопласта и др.;

И конечно же в качестве кульминации рассмотрим пластмассы способные работать в агрессивных средах: полиэтилены (ПЭ), фторопласты (ФТ), полипропилен (ПП), поливинилхлорид (ПВХ), полиимиды (ПИ), полисульфон (ПСФ) и другие.

По совокупности свойств и параметров характеристик пластмассы делятся на две большие группы:

1- общетехнического назначения;

2- инженерно- технического назначения.

Рассмотрим пластмассы общетехнического назначения. Спектр эксплуатационных условий не ставит задачу для этого типа материала сверх задачи по прочности, выносливости или даже экстремальные условия работы. Задачи, которые выполняют данного вида назначения полимеров можно отнести к спокойным, может даже в некоторого рода комфортным, но все же иногда даже рутинным, если можно так говорить о подобных вещах. Такого рода материалы окружают нас каждый день и порой мы даже не подозреваем об их вполне незаурядных задачах для решения которых их изобрели и успешно внедрили в нашу обыденность.

С другой стороны им в противовес имеются полимеры, наделенными «сверх способностями» для сверх задач. Немного о них тоже поговорим.

Пластмассы инженерно-технического назначения это уже другая крайность. Они могут работать при экстремальных температурах, немислимых давлениях, трениях, через них могут пропускать электрический ток. Причем последний может или должен в некоторых условиях обязательно и беспрепятственно проходить или же материал должен обладать диэлектрическими свойствами. Подобные задачи решаются благодаря сложным инженерным моделированиям и возможностью конструирования структуры молекул полимеров, своего рода «генная инженерия» в мире полимеров. Весьма неординарные задачи требуют инженерного решения и приводят к появлению материалов с новыми свойствами.

Внесение в состав или напротив удаление из структуры макромолекул определенных составляющих может придавать новые свойства и давать ряд преимуществ в конечном результате, хотя методы конструирования не всегда так просты и логичны в исполнении, иногда они могут быть крайне иррациональны и не логичны. Но результат превыше всего.

«В зависимости от применяемости наполнителя и степени его измельчения все материалы подразделяют на четыре группы: порошковые (пресспорошки), волокнистые, крошкообразные и слоистые» [17].

#### **1.4 Технологические свойства пластмасс**

С точки зрения технологичности, свойства пластмасс проявляются как: текучесть, влажность, время отверждения, дисперсность, усадку, таблетуемость, объемные характеристики.

Каждая из которых играет важную роль в эксплуатации.

Текучесть- это способность материала к вязкому течению. Которое проявляется в виде способности к выдавливанию в течение 10 мин через стандартное сопло под давлением определенного груза при заданной температуре.

Текучесть играет не маловажную роль при формировании свойств полимеров. Однако нельзя рассматривать свойства полимеров только с одного угла для лучшего понимания и правильного применения различных проявлений свойств необходимо взглянуть на них шире.

Усадка. Она же на прямую зависит от способа формования реактопласта. Однако это не единственное что может при формировании происходить. Ещё есть такое явление как сшивание молекул. Прошивать молекулы полимеров можно двумя способами, такими как, полимеризации или поликонденсации. Причем поликонденсация происходит с получением молекул воды, что является побочным продуктом. Вода же при этом испаряется, так как данный процесс происходит при высоких температурах. Температура оказывает на усадку колоссальное влияние. Что в свою очередь при увеличении времени выдержки может привести к получению новых химических реакций. Усадка после обработки также зависит от влажности прессматериала и времени предварительного нагрева: с увеличением влажности усадка увеличивается, а с увеличением времени

предварительного нагрева – уменьшается [18]. Это влияние выражается в прямой зависимости. Усадка после формования уменьшается с уменьшением плотности при понижении температуры до температуры эксплуатации.

Усадка полимеров зависит от сжимаемости молекул полимера в различных направлениях. Это свойство полимерных молекул отлично как для термопластов и реактопластов, иными словами мы имеем анизотропию усадки. В свою очередь усадка также имеет различия, реактопласты имеют меньшую усадку в отличие от термопластов. Последние же выделяют больше влаги. Количество содержание конденсата может зависеть на прямую от условий хранения полимеров. Так как некоторые полимеры обладают некоторой гигроскопичностью материала и так же могут собирать влагу на своей поверхности при различных условиях хранения. Помимо влаги в полимерах могут содержаться различные летучие вещества, которые так же оказывают влияние на усадку. Наличие этих веществ говорит об остаточных мономерах и различных пластификаторах. Последние же могут испаряться при различных воздействиях, оказываемых на полимеры при их переработках и всевозможных видоизменениях. Всё выше указанное не оставляет полимерам никаких шансов на полное сохранение первоначальных свойств, хотя именно этого мы и добиваемся, когда идем на различные рода вмешательства в структуру молекул полимеров. Что в свою очередь позволяет наилучшим образом использовать весь имеющийся спектр возможности полимерных материалов [15, 34].

### **1.5 Физико-химические основы переработки пластмасс**

Изменение свойств полимерных молекул нельзя получить, не имея возможности влияния на них. Эти воздействия можно ещё назвать процессом переработки пластмасс. Сама же переработка пластмасс подразделяется на физические и физико-химические процессы структурообразования и формования:

- нагревание, плавление, стеклование и охлаждение;
- изменение объема и размеров при воздействии температуры и давления;
- деформирование, сопровождающееся развитием пластической (необратимой) и высокоэластичной деформации и ориентацией макромолекулярных цепей;
- релаксационные процессы;
- формирование надмолекулярной структуры, кристаллизация полимеров(кристаллизующихся);
- деструкция полимеров.

Возможность прохождения одновременного и взаимосвязанного процесса не позволят нам иметь ввиду равно взаимодействующих процессов. В любом случае будет главенство одного из них. И не всегда лидерство процесса может сохраняться постоянно, а иногда даже наоборот смена лидеров происходит повсеместно. Что тоже влияет на конечный результат. Процесс формования не может проходить без нагрева и различных деформирующих воздействий на полимер. Наличие, отсутствие или различные изменения в параметрах при взаимодействии можно значительно изменить структуру и конечные свойства макромолекул.

Снижение температуры или даже охлаждение полимера приводит к кристаллизации. Это тоже ведет к изменениям структуры «стартового» полимера.

«Кристаллизация в зависимости от состояния расплава приводит к различным видам структуры. Кристаллизация из расплава полимера в равновесном состоянии без деформации приводит к образованию сферолитных структур. Центром образования таких структур является зародыш, от которого образуются лучеобразные фибриллы, состоящие из множества упакованных ламелей. Фибриллы, разрастаясь в радиальном направлении и в ширину, образуют сферообразные структуры- сферолиты. Сферолиты образуются одновременно в большом числе центров



кристаллизации. На основе этого сферолиты в местах контакта образуют грани и представляют собой многогранники произвольной формы и размеров. Электронно-микроскопические исследования показывают, что фибрилла сферолитов составлена из множества ламелей, уложенных друг на друга и скрученных вокруг радиуса сферолита» [3, 5].

«Кристаллизация из расплава полимера протекает при введении в полимерный материал кристаллизаторов - зародышей. Если кристаллизация протекает под высоким давлением (300...500 МПа) и при высокой температуре, то образуется кристаллическая структура из выпрямленных цепей; при быстром охлаждении того же расплава кристаллизация проходит с образованием сложных цепей, макромолекулы в этом случае в расплаве в виде доменов, а быстрое охлаждение не позволяет им перейти в новую конформацию, т.е. приобрести вытянутую форму. Установлено также, что с увеличением давления температура кристаллизации повышается. Практическое значение этого свойства: возможность перехода полимера непосредственно из расплава без охлаждения в квазикристаллическое состояние при повышении давления; при этом исключаются течение и затормаживаются релаксационные процессы. При повышении давления, образуются более мелкие сферолиты и поэтому увеличивается механическая прочность изделий. Размеры кристаллов также зависят от скорости охлаждения и температуры в процессе формования изделия. При высокой скорости охлаждения получают мелкокристаллическую структуру, так как времени на перегруппировку кристаллов недостаточно» [2,3,5].

Более крупную структуру полимера можно получить при увеличении температуры, времени выдержки и медленном охлаждении или путем предварительного нагрева расплава до более высокой температуры перед кристаллизацией.

В зависимости от способа переработки отверждение совмещается с формованием изделия (при прессовании), происходит после оформления изделия в полости формы (литьевое прессование и литье под давлением

реактопластов) или при термической обработке сформованной заготовки (при формовании крупногабаритных изделий, например, листов гетинакса, стеклотекстолита и др.). Полное отверждение реактопластов требует в некоторых случаях нескольких часов. Для увеличения съема продукции с оборудования окончательное отверждение может производиться вне формующей оснастки, так как устойчивость формы приобретается задолго до завершения этого процесса. По этой же причине изделие извлекают из формы без охлаждения. При переработке полимеров (особенно термопластов) происходит ориентация макромолекул в направлении течения материала [6].

Метод непрерывной экструзии получил широкое применение при изготовлении полимерных труб. Чаще всего изготавливают трубы из полиэтилена и полипропилена. Для этого в качестве сырья используют гранулы данных полимеров. Что же касается ПВХ труб, то для этого материала сырьем служат смолы ПВХ и всевозможные стабилизаторы и наполнители [3, 30].

### **1.6 Анализ физических процессов, протекающих при тепловой сварке полимерных материалов.**

Сварка - это процесс получения неразъемных соединений, путем вновь образованных межатомных связей. И полимеры не остались в стороне. Сварка пластмасс на сегодняшний день такой же процесс получения новых изделий, как и сварка любых других материалов, имеющих на сегодняшний день.

Прогресс не остановить. И одним из его преимуществ, это возможность экспериментов.

Сварка - это термомеханический процесс. Но нужно оговориться не всякая температура нам может подойти. Нельзя допускать перегрева. Для

сварки пластмасс разогрев происходит до температуры вязкотекучего состояния и при воздействии давления для соединения.

При получении сварного соединения, в месте скрепления образуется материал схожий по своим свойствам и составу к основному материалу [21].

При получении материала выстраивается определенная структура материала, которая не может быть выдержана при сварке. Эти изменения приводят к изменению ориентации структуры в макромолекуле. На ряду с этим все свойства сохраняются без изменений. Это неединственные изменения, возникающие внутри маленького макромира, возникающего внутри полимера. Некоторые процессы могут ускоряться, нежелательные химические реакции, в частности, термоокислительная деструкция полиолефинов, а также сшивка характерная для полиэтиленов низкого давления, негативно влияющие на свойства сварных соединений. Деструкция никогда не была полезным процессом для любого полимера [14].

Возможность влиять на природу и различные характеристики свариваемых полимеров, конструкция и технологии их получения.

Основные технологии сварки различаются по способу нагревания соединяемых поверхностей, специфическим процедурам и основным параметрам сварки. Конструкция сварочных машин должна обеспечивать точное соблюдение норм сварки.

Независимо от технологических особенностей сварки для качества сварных соединений важны поверхностные явления между свариваемыми деталями, реологические процессы (вязко-упругие высокоэластические и пластические деформации, а также течение расплавов полимеров), кинетика диффузии макромолекул и их сегментов, ориентация макромолекул в области соединения и внутренние напряжения сварочного происхождения [23].

Возможность получения сварных соединений как идея создания новых продуктов привела к созданию различных источников передачи тепловой энергии для получения сварных соединений. По способу нагрева могут быть

контактные источники нагрева, лазерные, индукционные, не обходят стороной даже получение сварных соединений с помощью клеевого метода. Последнее вводит в замешательство «неопытного» потребителя.

Однако каждый из способов получения сварных соединений получил своё применение, которое зависит от желаемого конечного результата.

Сварке подвергаются только так называемые термопластичные пластмассы (термопласты), которые при нагревании становятся пластичными, а после охлаждения принимают первоначальный вид и свойства. Кроме них, существуют термореактивные пластмассы, которые изменяют свои свойства при нагреве. Нагревать пластмассы при сварке следует не выше температуры их разложения.

Пластмассы можно сваривать различными способами: нагретым газом; контактной теплотой от нагревательных элементов; трением; ультразвуком. Рассмотрим способ сварки нагретым инструментом [18, 38, 40, 41, 44].

### **1.7 Оборудование для сварки нагретым инструментом.**

К наиболее простому оборудованию для сварки нагретым инструментом относятся сварочные аппараты для сварки полимеров, предназначенные для сварки труб встык и внахлест. Первые используются для оплавления плоских поверхностей, чаще всего торцов труб при стыковой сварке. Однако их можно использовать для сварки любых деталей, имеющих плоскую контактную поверхность [39].

Работа со сварочными аппаратами для сварки встык проста. После установки температурного режима и разогрева инструмента, подготовленные кромки соединяемых деталей прижимаются к разогретой поверхности с двух сторон. После разогрева и оплавления поверхностей, детали прижимаются друг к другу с определенным усилием и выдерживаются в таком положении до охлаждения шва [39].

«У аппаратов для сварки в раструб происходит разогрев наружной поверхности трубы и внутренней поверхности фитинга или раструба трубы. Диаметры нагревательных втулок (муфт) и штифтов (дорнов) подобраны таким образом, чтобы при соединении трубы с фитингом обеспечивался натяг, необходимый для образования прочного и герметичного соединения. После установки температурного режима и разогрева инструмента, соединяемые детали трубопровода устанавливаются с двух сторон на нагретую оправку - фитинг надевается на штифт (дорн), труба вставляется во втулку (муфту). После выдержки необходимого для нагрева времени, детали снимаются с оправки и соединяются друг с другом.

Нередко для сварки пластмасс используют обычные электропаяльники, которые особенно хорошо подходят для разогрева кромок маленьких деталей.

Сегодня нельзя представить современный город, село или крупное предприятие без трубопроводов различного назначения: газо- и водопроводы, канализационные сети и т.д. Любой трубопровод должен быть надежным и долговечным. Эти качества обеспечиваются применением современных материалов, нормативно-технической документацией и квалифицированными кадрами, владеющими передовыми технологиями» [29, 26, 27].

«В настоящее время полимерные материалы являются оптимальными для современных трубопроводов газо- и водоснабжения. Полимерные материалы в наилучшей степени сочетают все свойства, необходимые для этих целей: длительный срок эксплуатации, стойкость к давлению и температуре, коррозионную стойкость к внешней среде и транспортируемому носителю, высокую эластичность и ударопрочность, низкую газопроницаемость, простоту и надежность соединения, технологичность и экономичность в изготовлении как самих труб, так и соединительных деталей к ним, легкость монтажа. Поэтому на сегодняшний день трубы из полимеров (полиэтилена, полипропилена и др.) заняли

ведущее место в мире во многих отраслях промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. В связи с этим для обеспечения высокого качества монтажа полимерных трубопроводов необходимо использовать только современную сварочную технику, позволяющую получать качественные сварные соединения» [26, 27].



Рисунок 1 – Инструменты, необходимые для подготовки труб

Спектр инструмента, который необходим для подготовки труб к сварке, самый разнообразный (рисунок 1). Это ножницы и телескопические труборезы с режущими дисками, позволяющие резать толстостенную пластмассовую трубу до диаметра 160 мм с наименьшими усилиями.



Рисунок 2–Цепная электрическая дисковая пила для резки полиэтиленовых труб

«Для резки полиэтиленовых труб до диаметра 1200 мм под углом 90° удобно применить цепную электрическую дисковую пилу (рисунок 2). С помощью пилы возможно точно и ровно отрезать трубу в необходимом месте перед сваркой.

Полезным инструментом для монтажа пластмассовых труб является фаскосниматель с диапазоном обрабатываемых труб до диаметра 160 мм включительно. Фаскосниматель предназначен для снятия фаски под углом 15° наружного диаметра пластмассовой трубы, что, несомненно, облегчит сам процесс сварки и монтажа.

Отличительной чертой этих аппаратов является наличие высококачественных сменных насадок.

Нагревательные насадки покрыты долговечным антиприлипающим ПТФЭ- покрытием, благодаря которому монтаж производится качественно и быстро (рисунок 3)» [28, 29].



Рисунок 3 – Нагревательные насадки для сварки встык

Все это подводит нас к самому главному, это получению сварного соединения. В отличие от обще принятого представления процесса сварки для металлов, у полимеров чаще используется процесс нагрева до вязкотекучего состояния. Что позволяет избежать деструкции материала.

Для выполнения нагрева используется контактный метод нагрева. Один из широко используемых для сварки пластмасс. Это достигается за счет размещения нагревательного элемента между соединяемыми торцами труб. Для улучшения прогревания необходимо усилие сжатия, это позволяет более качественно произвести нагрев и в последующем избежать образования внутренних дефектов сварного соединения. Усилие сжать необходимо прикладывать даже после удаления нагревательного элемента. Главным параметром сварки после удаления источника нагрева становится время усадки. Оно должно быть максимально минимизировано для избежания остывания и кристаллизации материала до образования сварного соединения. Благодаря пониманию физики процесса можно предотвратить и избежать негативных последствий.

Человечество на протяжении всего своего существования стремится облегчить своё существование. Благодаря этому происходит замена человеческого труда на более механизированный, а в ряде случаев даже автоматизированный.



Такие сварочные установки позволяют труд сварщика трактовать как труд оператора. Это позволит снизить, а иногда даже исключить образование ряда дефектов. Эти темы раскрыты в следующих источниках литературы [28, 29].

### **1.8 Технология получения неразъемных соединений при сварке полимеров с использованием нагретого инструмента**

Нагрев свариваемых поверхностей производится металлическим нагретым инструментом. Из-за прямого контакта с нагретым инструментом теплоперенос гораздо более интенсивный, чем в случае сварки горячим воздухом; распределение тепла в массе свариваемого материала в этом случае также более благоприятно, никакие зоны материала не получают большего термического стресса, чем необходимо для сварки. Получаемые в результате сварные швы не имеют зон термически поврежденного материала. Прочность соединения труб при таком способе сварки не ниже, чем прочность исходной трубы [6, 39].

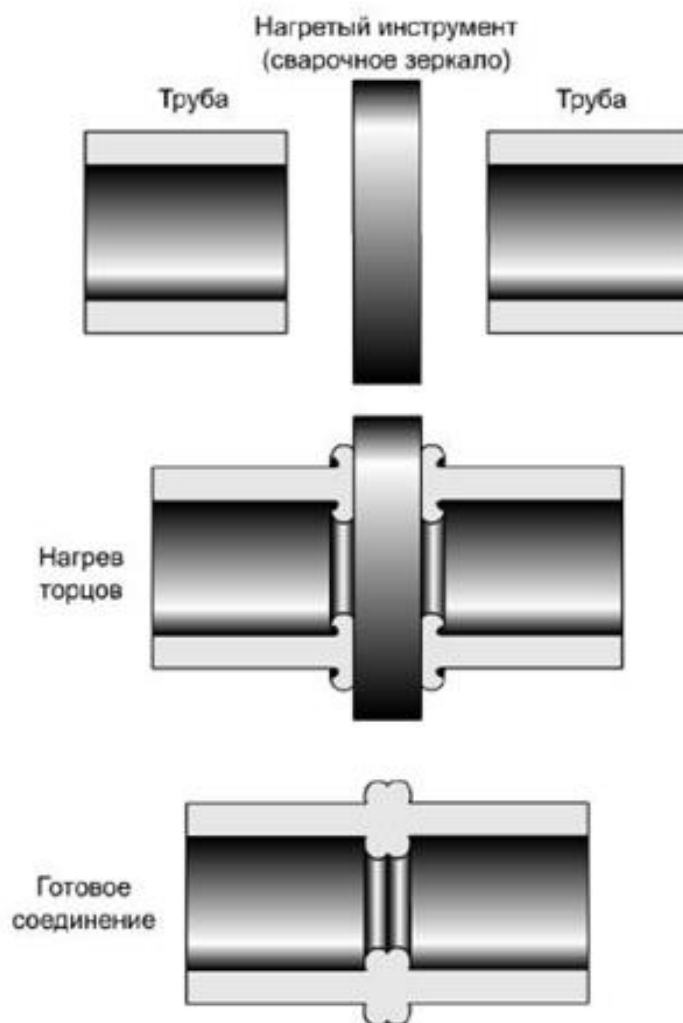


Рисунок 4—Последовательность сварки встык нагретым инструментом

Сварка встык заключается, в принципе, в нагреве торцов свариваемых труб до расплавления материала и в последующем сжатии нагретых торцов для остывания (рисунок 4).

Состав оборудования:

Минимальный состав оборудования показан на рисунках 5 и 6 и зависит от типа привода аппарата [39].

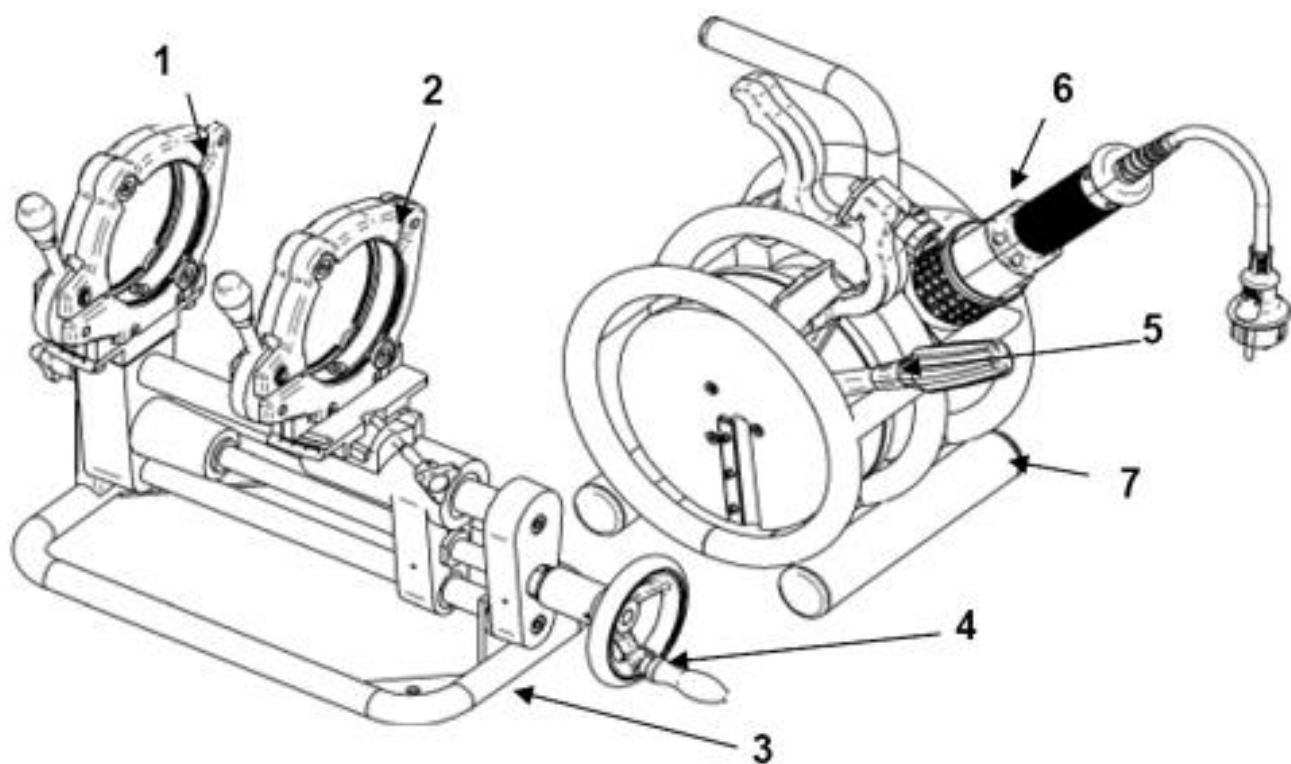


Рисунок 5 - Состав оборудования с механическим приводом для стыковой сварки

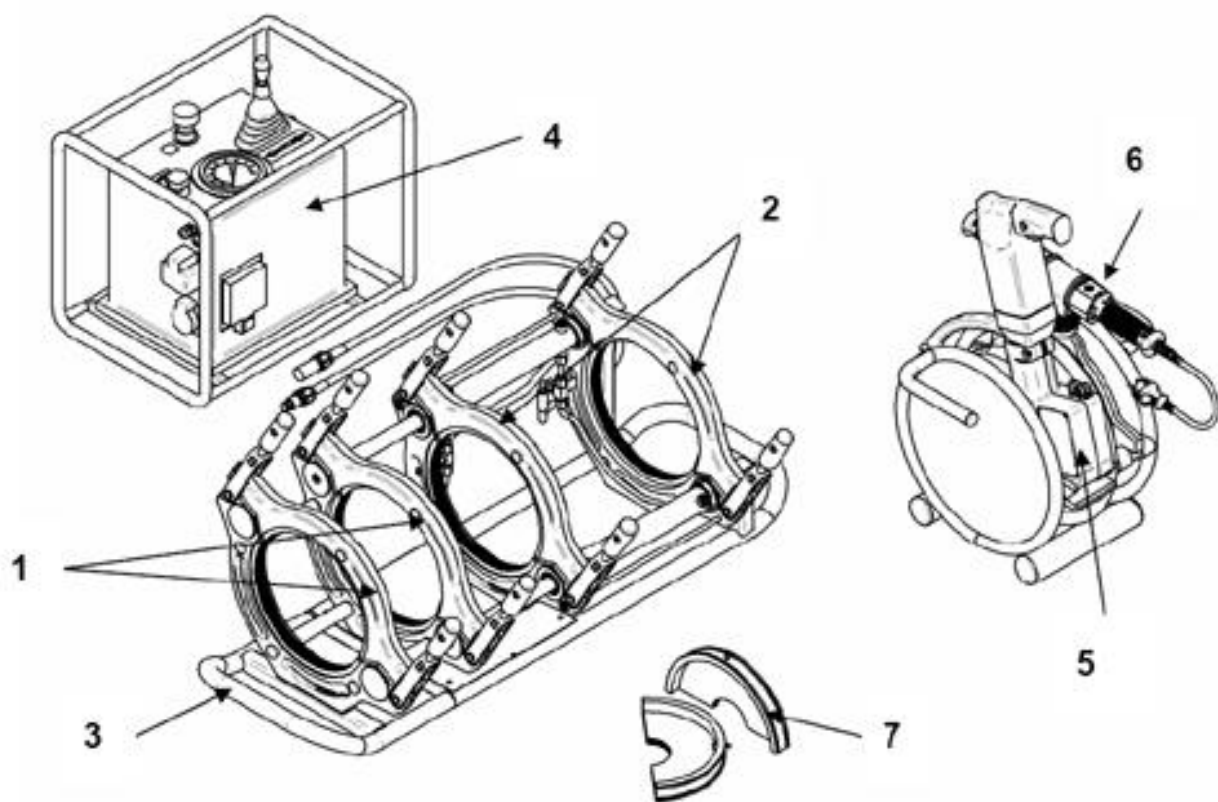


Рисунок 6 - «Состав оборудования с гидравлическим приводом для стыковой сварки

«В состав оборудования обязательно входит:

- центратор с одним или двумя неподвижными зажимами для трубы (1) и одним или двумя подвижными зажимами (2);
- центратор располагается на раме (3);
- подвижные хомуты приводятся в движение с помощью давления масла в гидросистеме, производимого гидравлическим агрегатом, или с помощью ручки механического привода (4);
- для очистки и выравнивания торцов свариваемых труб перед нагревом служит торцеватель (5), который может быть электрическим или механическим;
- для нагрева свариваемых торцов предназначено сварочное зеркало (6);
- торцеватель и зеркало могут быть закреплены на раме центратора, а могут храниться на подставке (7);
- для фиксации труб различных диаметров служат сменные вкладыши (7) для подвижного и неподвижного зажимов центратора.

Подготовка к сварке

Свариваемые части трубопровода должны быть зафиксированы в центраторе (см. рисунок 7) сварочного аппарата. Как правило, центратор жестко крепит одну трубу и обеспечивает осевое перемещение второй трубы. Для устранения трения подвижной трубы о землю целесообразно пользоваться, например, роликовыми упорами.

Кроме коаксиальной фиксации труб, фиксатор обеспечивает перемещение подвижной трубы в направлении неподвижной трубы с контролируемым усилием. Наиболее распространенные способы создания усилия – механический (вращение ручки привода) и гидравлический» [39].

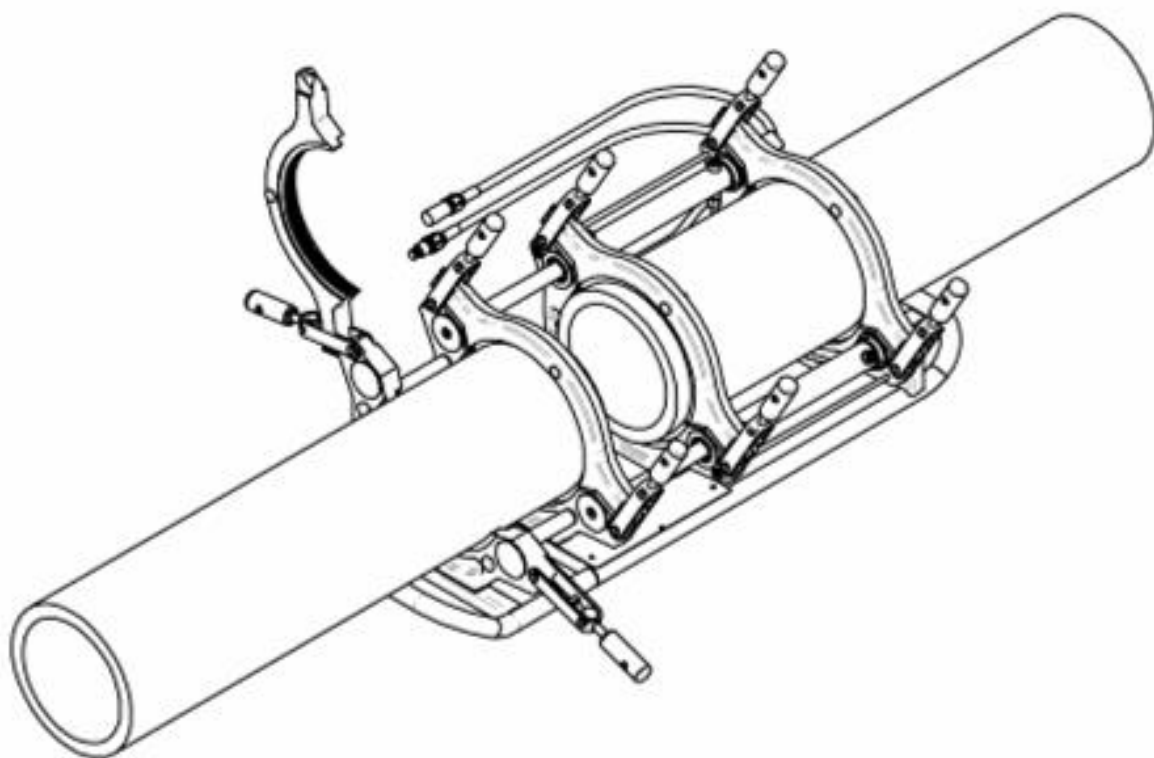


Рисунок 7 -Фиксация труб в центраторе

«Для предотвращения прилипания трубы к нагретому инструменту и для облегчения удаления нагретого инструмента из зоны сварки после нагрева, поверхность инструмента, как правило, покрыта тефлоном. Тефлоновые покрытия также облегчают очистку инструмента.

После фиксации труб их торцы выравниваются и торцевателем (см. рисунок 7), который представляет собой дисковый рубанок. Свариваемые поверхности необходимо прижать к рабочим поверхностям торцевателя и обработать до достижения ровной плоской поверхности. Для максимального приближения формы готовой поверхности к идеальной плоскости глубина торцевания за один проход ножа торцевателя не должна превышать 0,2 мм. Торцеватель обеспечивает последующее плотное прилегание свариваемых торцов труб к поверхности нагретого инструмента, а также удаляет возможные загрязнения и оксидный слой.

Момент окончания торцевания легко определить визуально по появлению сплошной кольцевой стружки с обеих сторон торцевателя.

Не останавливая торцеватель, ослабьте усилие прижима и отведите подвижную трубу от торцевателя. Это позволит плавно и без задиров закончить торцевание» [39].

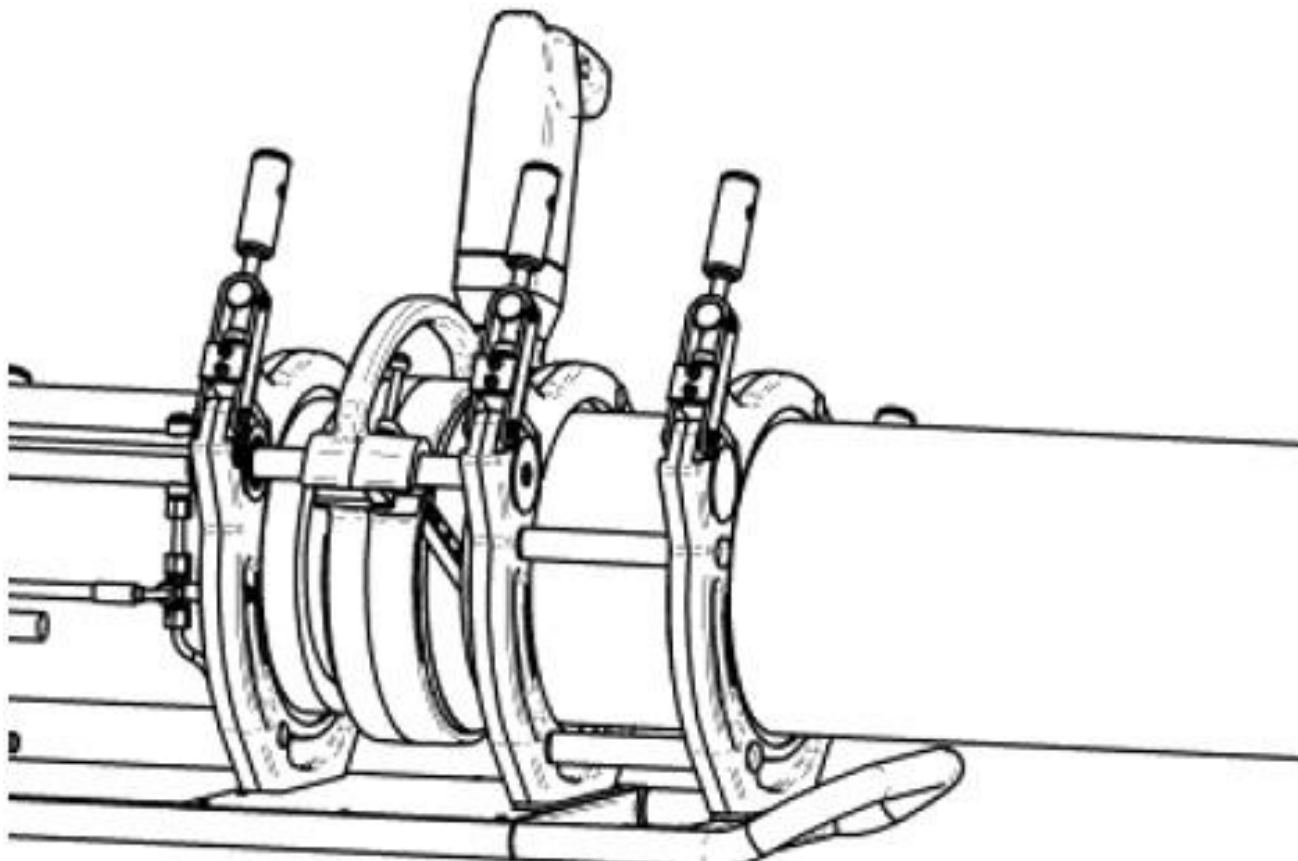


Рисунок 8 - Установка торцевателя между свариваемыми торцами труб

«После торцевания необходимо чистым инструментом удалить стружку из зоны сварки, особенно – изнутри трубы.

После удаления стружки сведите трубы и проверьте плотность прилегания свариваемых поверхностей. Кроме того, несовпадение стенок свариваемых труб должно быть не более 10% толщины трубы. Некоторые конструкции центраторов позволяют в случае необходимости уменьшить несовпадение специальными регулировками соосности. Отторцованные трубы должны выступать из фиксирующих зажимов центратора на расстояние не менее толщины стенки этих труб.

Нагревательный элемент (т.н. сварочное зеркало), нагретый до необходимой температуры (см. рисунок 8) располагается между свариваемыми торцами труб, затем торцы труб прижимаются к нагревательному элементу для предварительного нагрева» [39].

«При небольшом увеличении видно, что гладкая на вид поверхность сварочного зеркала на самом деле имеет неровности. Поверхность торца трубы, обработанная торцевателем, тоже всё-таки отличается от идеальной плоскости. Поэтому для достижения равномерного контролируемого нагрева свариваемых торцов необходимо в первый момент эти торцы прижать к нагретому сварочному зеркалу с существенным усилием. Через короткое время материал свариваемых поверхностей оплавляется и плотно прижимается к поверхности сварочного зеркала, увеличивая площадь теплопереноса до 100% площади торца трубы» [3, 5].

«В результате нагрева под давлением по внешнему и внутреннему периметру торца трубы выступает валик пластифицированного материала, который называется гратом (см. рисунок 4). Отрицательной особенностью грата является некоторое уменьшение условного прохода трубы после завершения сварки; поэтому, в частности, детали безнапорной канализации не рекомендуется соединять с помощью сварки» [14].

«Однако, грат увеличивает толщину стенки трубы в месте сварного шва. Если учесть, что любой полимер при нагреве до пластического состояния в большей или меньшей степени подвергается термическому шоку, то увеличение толщины стенки в зоне сварного шва – это единственный способ достичь здесь прочности не ниже прочности исходной трубы. Поэтому нагрев с приложением усилия продолжают и после того, как достигнут 100% тепловой контакт между сварочным зеркалом и торцом трубы – пока грат не достигнет рекомендуемой величины. Очевидная закономерность: необходимая высота грата тем больше, чем больше толщина стенки свариваемых труб (или толщина свариваемых листов)» [23].

«Занижение давления прижима при создании грата ведет лишь к отсрочке момента 100%-ного контакта между торцом трубы и поверхностью зеркала. Дополнительное время, которое в этом случае требуется на создание грата, нельзя считать потерянным, т.к. большая его часть – это уже, фактически, начало основного нагрева (см. пункт 4)» [39].

А вот превышение давления при создании грата ведет к выдавливанию недогретого материала, который формирует грат неправильной формы и не обеспечивает должного усиления шва.

Основной нагрев поверхностей В течение времени нагрева, которое начинается после создания грата нужной высоты, давление прижима – почти нулевое:

- это давление должно быть ничтожно мало, чтобы не вызывать дальнейшего увеличения грата, однако;
- это давление должно быть достаточным, чтобы гарантировать контакт торцов трубы со сварочным зеркалом.

На рисунке 9 показано изменение давления прижима в ходе сварочного процесса [39].

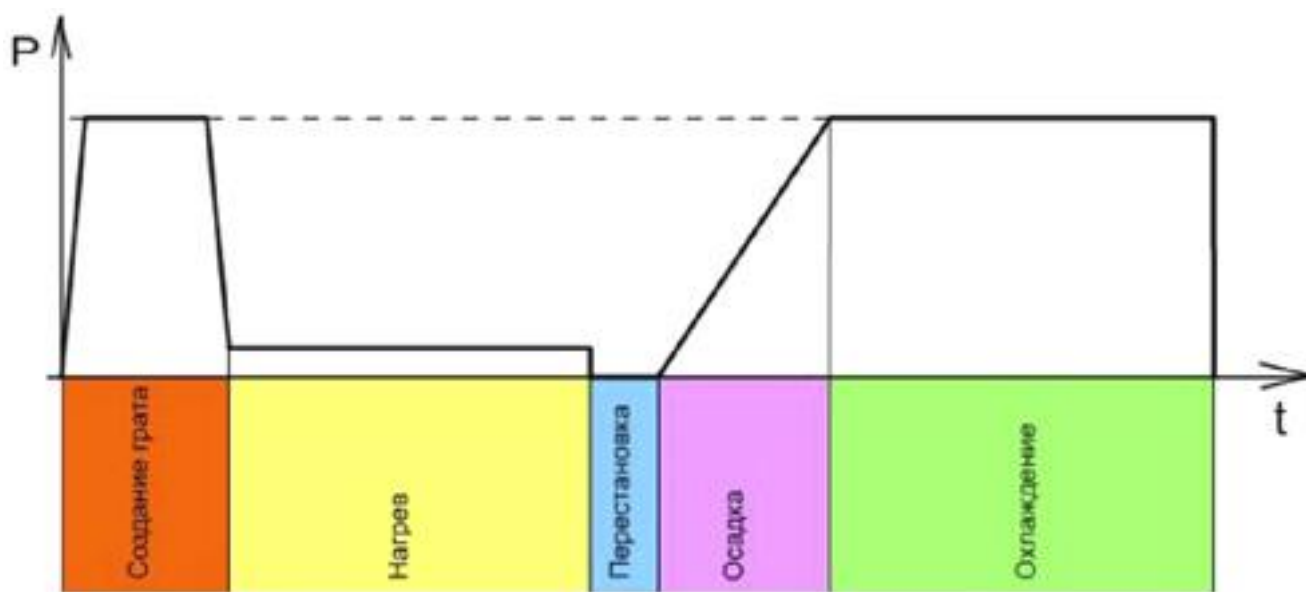


Рисунок 9 - Изменение давления прижима в ходе сварочного процесса



Отличительной особенностью стыковой сварки является медленный глубокий нагрев поверхностей сварочным зеркалом, нагретым до сравнительно невысокой температуры (около 200-210°C) [25].

Рекомендуемые и общепринятые режимы нагрева труб и листов (температура и время) подобраны таким образом, что обеспечивают плавный прогрев материала на глубину, приблизительно равную толщине стенки трубы или толщине листа (см. рисунок 10). Это обстоятельство рекомендуется учитывать при фиксации труб и торцевании. Отторцованная труба должна выступать из зажимов центриатора на длину не менее толщины стенки трубы [39].

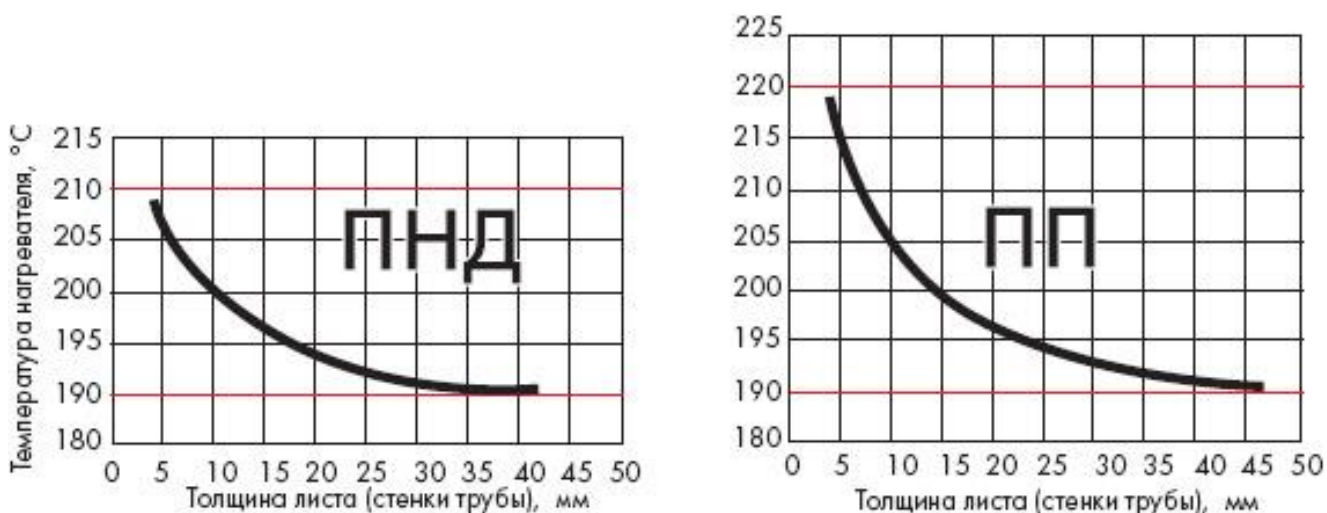


Рисунок 10 - Температура сварочного зеркала для полиэтилена и полипропилена

«При температуре сварочного зеркала около 200°C и при температуре окружающей среды около комнатной скорость прогрева материала в глубину поддается точному расчету (для ПНД условно считается приблизительно равной 1мм за 10 сек). Эта скорость определяет рекомендуемое время нагрева в зависимости от толщины стенки трубы» [39].

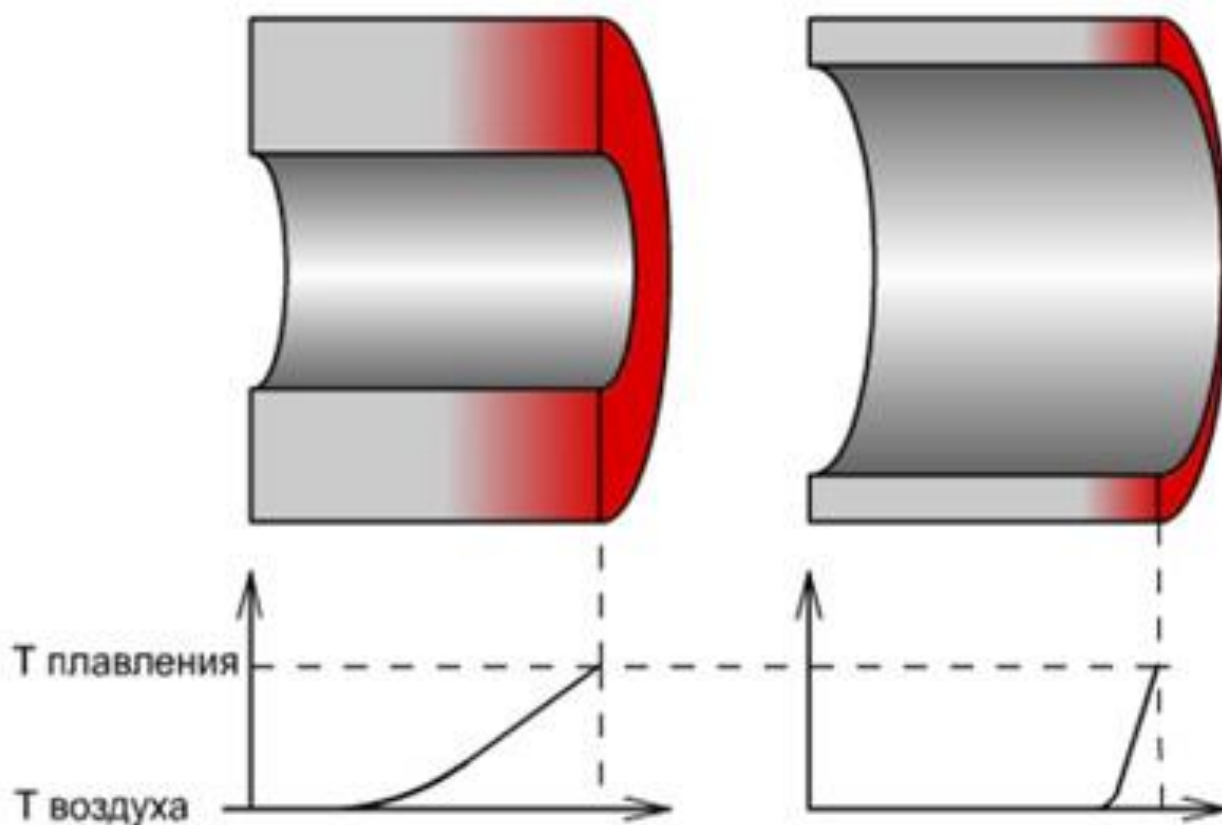


Рисунок 11 - График распределения температуры в трубах с разной толщиной стенки

«После нагрева поверхностей решающее значение имеет быстрое удаление нагретого инструмента и совмещение нагретых свариваемых поверхностей. При этом необходимо не смять, не запачкать и не повредить другим способом нагретые поверхности! Максимально допустимое время на отведение подвижной трубы, удаление сварочного зеркала и сведение торцов труб называется временем перестановки и указывается в сварочных таблицах. Превышение этого времени ведет к остыванию оплавленных торцов и, как следствие, к плохому качеству шва. Очевидно, что для более толстостенных изделий допустимое время перестановки выше (рисунок 11)» [39].

Во время перестановки нагретый материал, контактируя с воздухом, быстро окисляется. Кроме того, тонкий слой нагретой поверхности успевает немного остыть. Поэтому следует стремиться к уменьшению времени перестановки [22].

«Скорость сведения труб в момент их контакта должна быть как можно ближе к нулю. Приложение значительного давления в первый момент контакта приведет к выдавливанию расплавленного материала из зоны шва и, к тому же, сильно увеличит высоту грата.

От момента контакта свариваемых поверхностей, по мере остывания материала, давление прижима поверхностей необходимо медленно и плавно увеличивать до рекомендуемого давления охлаждения. При увеличении давления расплавленный материал частично выдавливается из зоны шва и течет в направлении наружного и внутреннего грата, при этом тонкий слой материала, окислившийся и остывший во время перестановки, смешивается с более глубокими слоями и не оказывает отрицательного влияния на качество шва» [39].

«Экспериментально определенное оптимальное время, в течение которого должно быть плавно достигнуто давление охлаждения, известно, как время осадки. Во время осадки и на первом этапе последующего охлаждения происходит окончательное формирование грата.

При охлаждении окончательно формируется зона сварного соединения. Основная идея этого процесса состоит в том, чтобы толщина стенки трубы в зонах, прилегающих к сварному шву, увеличилась. Причем это увеличение должно быть тем больше, чем больше был нагрет (подвергся термической деградации) материал в данной точке. Рекомендуемые режимы нагрева и осадки подобраны таким образом, что оптимальным для охлаждения является усилие прижима, равное усилию при предварительном нагреве» [15].

«После осадки давление прижима деталей сохраняется постоянным до полного охлаждения при комнатной температуре. Время охлаждения зависит от материала и толщины стенки свариваемых труб (или толщины листов).

Не следует пробовать ускорить остывание (применение холодной воды или пр.) – это приведет к созданию внутренних напряжений в материале и, как результат, к снижению прочности шва.

После остывания сваренные части можно вынуть из аппарата» [39].

Перед раскрытием зажимов, фиксирующих трубы в фиксаторе, не забудьте сбросить усилие прижима до нуля!

На практике при сварке пластиковых труб оператор не может непосредственно измерить давление  $P$  прижима свариваемых поверхностей к сварочному зеркалу или друг к другу. Конструкция любого аппарата для стыковой сварки труб позволяет измерить только усилие  $F$  прижима в единицах, которые зависят от конструкции аппарата. Например, в аппаратах с гидравлическим приводом логично измерять усилие прижима в единицах давления масла в гидросистеме аппарата. А в случае аппаратов с механическим приводом усилие измеряется степенью сжатия пружины, единицы индикации зависят от градуировки шкалы – ньютон (Н), килограммы (кгс), «попугай» или «бананы».

Поэтому для практического использования к каждому аппарату стыковой сварки производитель аппарата прикладывает сварочные таблицы для различных термопластов. В такой таблице параметры сварки, включая усилие прижима, указываются в зависимости от диаметра и толщины стенки трубы [39].

«При выполнении сварных работ зона сварки должна быть защищена от влияния неблагоприятных погодных условий (т.е. высокой влажности, ветра, яркого солнца и температур ниже  $0^{\circ}$ ).

Сварку можно проводить в любых погодных условиях, если будет гарантировано, что применение специальных мер (тепловые пушки, палатки, тенты и пр.) позволит поддерживать температуру стенки трубы на подходящем и постоянном уровне» [15].

«В реальных условиях подвижная труба, как правило, имеет существенную длину, лежит на грунте и требует ненулевого усилия для ее перемещения вдоль оси. Это усилие, известное как усилие пассивного сопротивления, необходимо измерить сразу после фиксации труб в

центраторе и затем добавлять величину этого усилия к рекомендуемому усилию на каждом этапе процесса» [39].

«Как видно из описания процедуры сварки встык, этот способ сварки требует точного выполнения целого ряда последовательных процедур на довольно сложном оборудовании. Поэтому выбор между стыковой и раструбной сваркой склоняется в пользу стыковой сварки чаще при монтаже трубопроводов большого диаметра:

- соединительные муфты для раструбной сварки трубопроводов больших диаметров, если бы они были представлены на рынке, стоили бы очень дорого по технологическим причинам;
- раструбная сварка трубопроводов большого диаметра (в отличие от малых диаметров), так же как и стыковая сварка, требует применения центратора; поэтому нет преимущества простого дешевого оборудования.

Из всего многообразия термопластов, для производства трубопроводов большого диаметра (выше 110мм) в подавляющем большинстве случаев производятся из полиэтилена по причине его невысокой цены и удовлетворительных потребительских свойств. Поэтому основное применение стыковой сварки нагретым инструментом – это монтаж трубопроводов из полиэтилена сравнительно больших диаметров» [4].

«Монтаж трубопроводов из полиэтилена для газоснабжения и других объектов повышенной опасности требует современного автоматического оборудования для стыковой сварки, которое значительно снижает влияние человеческого фактора на качество шва, а также позволяет сохранить важные параметры сварочного процесса в памяти оборудования и распечатать т.н. «паспорт шва»» [29].

«Фасонные детали для трубопроводов из полиэтилена (отводы, тройники и пр.) изготавливаются с расчетом на стыковую сварку, т.е. торец соединительной детали совпадает с торцом трубы. Для труб сравнительно небольших диаметров (до 225 мм) фасонные детали изготавливаются как

методом литья под давлением, так и сваркой из трубы. Для больших диаметров, по технологическим причинам, фасонные детали только свариваются из трубы» [19, 32].

### **1.8.1 Особенности стыковой сварки**

«Сварка встык основана на одновременном оплавлении при помощи нагревательного инструмента поверхности торцов труб и последующим их сопряжением. Этим способом соединяются трубы и детали при толщине стенки по торцам более 5 мм и температуре окружающего воздуха от минус 15°С до плюс 40°С. Технологический процесс проходит в следующей последовательности:

- закрепление концов труб в зажимах центратора сварочной машины;
- механическая обработка концов труб с помощью торцевателя (она производится до тех пор, пока снимаемая с торцов стружка не станет сплошной, после чего стружка должна быть удалена из зоны сварки);
- проверка соосности и точности совпадения торцов труб по величине зазора между ними (величина зазора, в зависимости от диаметра труб, может составлять 0,3- 0,5 мм);
- оплавление и нагрев свариваемых поверхностей нагретым инструментом (оплавление торцов производится под давлением 0,2+- 0,02 МПа до образования по всему периметру контакта валиков первичного грата, после чего давление снижается и происходит нагрев торцов. Давление при оплавлении в 10 раз больше, чем при нагреве);
- удаление нагретого инструмента из зоны сварки;
- осадка стыка до образования сварного соединения (процесс происходит под плавным увеличением давления на оплавленные торцы, которое достигает значения  $0,2 \pm 0,02$  МПа и сохраняется до охлаждения сваренного стыка);
- демонтаж сварного соединения из зажимов центратора сварочной машины» [24].

«Температура нагретого инструмента в процессе сварки должна автоматически поддерживаться постоянной, величина ее, в зависимости от материала и толщины стенки трубы, а также температуры окружающего воздуха продолжительность нагрева составляет от 50 до 360 секунд, давления осадки- от 5 до 11 секунд, а охлаждение сварочного соединения- от 8 до 73 минут. Технологическая пауза (время, за которое необходимо удалить нагревательный элемент из зоны сварки) зависит от толщины стенки, и ее величина колеблется от 3 до 6 секунд (для труб диаметром свыше 315 мм- 12 секунд). Технологический процесс сварки встык более прост по сравнению со сваркой внахлест и легче поддается автоматизации. Для этого были определены основные параметры сварки встык:

- температура нагретого инструмента;
- продолжительность оплавления и нагрева;
- давление нагретого инструмента на торцы при оплавлении и нагреве;
- продолжительность технологической паузы;
- давление на торцы при осадке;
- время охлаждения сваренного стыка под давлением осадки.

Стыковую сварку используют и для изготовления соединительных деталей водопроводов и канализации, с так называемым «косым стыком». В этом случае центратор имеет подвижное основание или специальные зажимы, позволяющие производить сварку под углом. Таким образом можно сделать сварочные колена, тройники, крестовины» [10].

«Сварка встык широко применяется для соединения труб мерной длины и больших диаметров (от 140мм) при строительстве водопроводов, канализации и т.п.» [39].

На рисунке 12 представлен сварочный аппарат для сварки полимерных труб.



Рисунок 12 – Аппарат для стыковой сварки полимерных труб [6, 39].

### **1.8.2 Особенности сварки труб в раструб**

«Сварка в раструб основана на одновременном оплавлении при помощи нагревательного инструмента внутренней поверхности раструба и наружной поверхности конца трубы с последующим сопряжением оплавленных поверхностей путем быстрого надвигания конца трубы в раструб. Нагревательный инструмент имеет сложную конфигурацию, при которой наружный диаметр дорна должен быть равным или несколько большим номинального внутреннего диаметра раструба, а внутренний диаметр гильзы должен быть равным или несколько меньшим минимального наружного диаметра трубы. Поэтому перед сваркой размеры свариваемых труб



проверяются при помощи специального калибра и, в случае несоответствия, концы труб (в том числе и раструбный) доводятся с помощью нагрева, расширения или механической обработки до требуемых размеров. В раструбных соединениях площадь сварки значительно превышает площадь поперечного сечения трубы» [5].

На рисунке 13 представлен сварочный аппарат для сварки полипропиленовых труб в раструб.

«Технологический процесс проходит в следующей последовательности:

-подготовка концов труб (калибровка под размер нагретого инструмента, механическая и тепловая обработка- до размеров калибра);

-нанесение метки на расстоянии от торца трубы, равном глубине раструба плюс 2 мм;

-сборка стыка: установка и закрепление концов свариваемых труб(трубы и детали) в зажимах центрирующего приспособления;

-проверка соосности и разметка стыка (на конце трубы дальше глубины раструба и на наружной поверхности раструба);

-оплавление и нагрев свариваемых поверхностей нагретым инструментом;

-удаление нагретого инструмента из зоны сварки;

-осадка стыка до образования сварного соединения (продолжительность осадки в 3 раза больше продолжительности нагрева);

-охлаждение соединения;

-удаление центрирующего приспособления» [32].

«В зависимости от материала труб, для обеспечения надежного оплавления поверхностей температура нагревательного инструмента меняется в пределах 260- 270°С. Также, в зависимости от материала и толщины стенки трубы, продолжительность нагрева составляет от 6 до 24 секунд, а охлаждение сварного соединения от 2 до 6 минут. Технологическая пауза (время, за которое необходимо удалить нагревательный инструмент из

зоны сварки) не должна превышать 1- 2секунды. При применении приспособлений, обеспечивающих быстрое сопряжение деталей, сварка в раструб допускается при минимальной температуре окружающего воздуха до минус 10°С, в других случаях она не должна быть ниже 0°С. При соединении труб с муфтами рекомендуется сварку второго конца муфты производить после полного охлаждения первого. Ограничительный хомут используется для более точной центровки концов труб и деталей, а также создания дополнительного давления при сварке. Перед каждой сваркой рабочие поверхности нагревательного инструмента необходимо очистить от налипшего от предыдущей сварки материала» [21].

 **ЗУБР**



Рисунок 13 – Аппарат для сварки полипропиленовых труб [33].

### 1.8.3 Технологические режимы сварки полиэтиленовых труб встык

Сварка полиэтиленовых труб проводили по следующей программе.

Для определения влияния изменения температуры и времени нагрева на свойства сварных соединений нами были выбраны следующие режимы сварки (таблица 1, таблица 2). Основным моментом для определения температуры нагревателя является температура, при которой полимеры разрушаются. То есть нагрев должен быть непременно меньше, чтобы не привести к разрушению материала и позволить получить качественные сварные соединения.

Таблица 1 - Технологические параметры сварки полиэтиленовых труб (SDR 17,6)

|                                |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Температура нагревателя Тн, °С | 210°С | 230°С | 280°С |
| Давление оплавления торцов, кг | 2,4   | 2,4   | 2,4   |
| Давление нагрева торцов, бар   | 0,6   | 0,6   | 0,6   |
| Давление сварки, бар           | 2,4   | 2,4   | 2,4   |
| Высота первичного грата, мм    | 1     | 1     | 1     |
| Время прогрева торцов, сек     | 63    | 63    | 63    |
| Технологическая пауза, сек     | 6     | 6     | 6     |
| Время подъема давления, сек    | 6     | 6     | 6     |
| Время охлаждения, мин          | 9     | 9     | 9     |

Таблица 2 - Технологические параметры сварки полиэтиленовых труб (SDR 13,6)

|                                |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Температура нагревателя Тн, °С | 210°С | 230°С | 280°С |
| Давление оплавления торцов, кг | 3,1   | 3,1   | 3,1   |
| Давление нагрева торцов, бар   | 0,7   | 0,7   | 0,7   |
| Давление сварки, бар           | 3,1   | 3,1   | 3,1   |
| Высота первичного грата, мм    | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Время прогрева торцов, сек     | 81    | 81    | 81    |
| Технологическая пауза, сек     | 6     | 6     | 6     |
| Время подъема давления, сек    | 6     | 6     | 6     |
| Время охлаждения, мин          | 11    | 11    | 11    |

Первая группа образцов сваривалась для выявления оптимальной температуры сварки труб с целью экспериментально доказать и обосновать выбранные режимы сварки.

После проведенных испытаний появилась необходимость в дальнейшем проведении исследования, что повлекло за собой ещё одну партию сваренных образцов. Следующую группу образцов сварили по оптимально выбранной температуре и выявлением зависимости от времени прогрева на качество сварного шва (таблица 3).

Таблица 3 - Режимы сварки с несколькими вариантами времени прогрева полиэтиленовых труб

|                                |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Температура нагревателя Тн, °С | 230°С | 230°С | 230°С |
| Давление оплавления торцов, кг | 3,1   | 3,1   | 3,1   |
| Давление нагрева торцов, бар   | 0,7   | 0,7   | 0,7   |
| Давление сварки, бар           | 3,1   | 3,1   | 3,1   |
| Высота первичного грата, мм    | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Время прогрева торцов, сек     | 40    | 81    | 120   |
| Технологическая пауза, сек     | 6     | 6     | 6     |
| Время подъема давления, сек    | 6     | 6     | 6     |
| Время охлаждения, мин          | 11    | 11    | 11    |

#### **1.8.4 Контроль качества сварных соединений полиэтиленовых труб.**

Качество сварных соединений оценивается по внешним и внутренним дефектам сварного шва, для обнаружения которых применяется визуальный и измерительный контроль, механические испытания, неразрушающий контроль (при необходимости) [2, 20].

Требования к критериям допустимости дефектов и оценки качества сварных соединений по результатам контроля содержатся в НД [1].

Для определения качества сварных соединений существуют множество методов, которые позволяют оценить качество сварного соединения. Среди них есть методы, которые приводят к разрушению и которые не приводят к разрушению объекта контроля.

Самым первым методом с которого начинается любой контроль - это визуальный осмотр. Его проводят используя лупу не более 5× увеличения. Чаще всего не ограничиваются только визуальным осмотром, а ещё проводят

измерения. Это позволяет не только увидеть дефект, а ещё измерить его. Поэтому такую процедуру назвали визуально-измерительным контролем [12, 22].

Контролируемые параметры сварного шва при визуальном и измерительном контроле и требования к ним приведены в таблице 4.





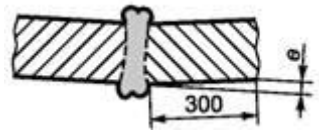
Таблица 4 – Контролируемые параметры сварных соединений

| Метод контроля | Контролируемые параметры                              | Требования к контролируемому параметру   |
|----------------|---|--|
| Визуальный     | Отсутствие (наличие) трещин, пор, инородных включений | Трещины, поры, инородные включения не допускаются  |
|                | Цвет валиков наружного грата                          | Цвет валиков грата должен быть одного цвета с трубой   |
|                | Расположение валиков наружного грата                  | Валики наружного грата должны быть равномерно распределены по длине шва                            |
| Измерительный  | Размеры валиков наружного грата                       | Размеры наружного грата зависят от толщины стенки и материала труб и указываются в НД              |
|                | Симметричность валиков наружного грата                | Отношение ширины наружных валиков грата к общей ширине грата – не более 0,3-0,7 в любой точке шва  |
|                | Смещение наружных кромок труб                         | Не более 10% номинальной толщины стенки трубы  |
|                | Величина впадины между валиками грата                 | Линия сплавления наружных поверхностей валиков грата не должна быть ниже наружной поверхности труб |
|                | Отсутствие (наличие) перелома осей труб               | Не более 5°  |



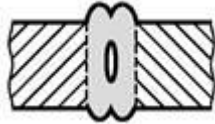
Нам мало обнаружить дефекты, необходимо понять причины, приводящие к ним. И предпринять меры для их устранения.

Наружные дефекты сварных соединений и причины их возникновения при сварке нагретым инструментом встык приведены в таблице 5.

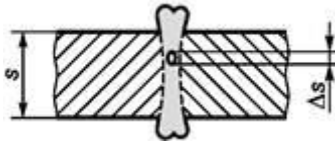
Таблица 5 – Дефекты сварных соединений при сварке нагретым инструментом встык

| Наименование дефектов   | Описание  | Оценка   |
|---|---|--|
| <b>Наружные дефекты</b>   |   |  |
| <p>1 Трещины</p>   | <p>Расположенные вдоль или поперек шва; могут находиться в:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- шве;</li> <li>- основном материале;</li> <li>- нагреваемой зоне</li> </ul>   | Не допускаются   |
| <p>2 Впадина между валиками грата или надрез (линия сплавления наружных поверхностей валиков)</p>  | <p>Непрерывные или локальные продольные надрезы в плоскости сварки с вершинами в основном материале, вызванные, например:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- недостаточным усилием сжатия;</li> <li>- коротким временем нагрева или охлаждения</li> </ul>                             | То же  |
| <p>3 Впадины</p>   | <p>Канавки на поверхности основного материала (продольные или поперечные относительно шва), вызванные, например:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- действием зажимного устройства;</li> <li>- неправильным транспортированием;</li> <li>- дефектами при подготовке кромки</li> </ul> | Допускаются локальные впадины с неострыми вершинами глубиной $\Delta s \leq 0,1s$ , но не более 0,5 мм |
| <p>4 Несовпадение кромок заготовок</p>   | <p>Смещение относительно друг друга или несовпадение свариваемых заготовок по толщине</p>   | Допускается, если $e \leq 0,1s$ , но не более 2 мм   |
| <p>5 Угловое смещение</p>    | <p>Например, из - за:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- неисправного оборудования;</li> <li>- неправильной центровки заготовок</li> </ul>  | Допускается, если $e \leq 1$ мм  |

Продолжение таблицы 5

| Наименование дефектов  | Описание   | Оценка  |
|--|--|---|
| <p>6 Высокий и узкий грат, как правило, не касающийся краями трубы</p>  | <p>Чрезмерно расплавленный, с острыми краями шов либо по всей длине, либо локальный в результате ошибочных сварочных параметров</p>  | <p>Допускается при положительных результатах механических испытаний</p>               |
| <p>7 Неправильно сформированный сварной шов</p>                         | <p>Слишком широкий или слишком узкий локальный грат или по всей длине шва, обусловленный, например, неправильным:<br/>                     - временем нагрева;<br/>                     - режимом температуры нагретого инструмента;<br/>                     - усилием сжатия</p>   | <p>Диапазон рекомендуемых значений ширины валика (см. диаграмму 1 в приложении А)</p> |
| <p>8 Несимметричный грат</p>   | <p>Неодинаковые валики грата (частично или по всей длине шва) из - за, например:<br/>                     - дефектов при подготовке торцов к сварке;<br/>                     - неисправностей сварочного оборудования</p>   | <p>Допускается, если <math>b_1 \geq 0,7b_2</math></p>                                 |
| <p>9 Термодеструкция</p>   | <p>Глянцевый (блестящий) грат, обычно сочетающийся с пустотами, утолщениями и заметными кавернами</p>  | <p>Не допускается</p>   |
| <p>Внутренние дефекты</p>  |  |   |
| <p>10 Несплавление</p>    | <p>Несплавление свариваемых поверхностей частично или всего поперечного сечения, вызванное, например:<br/>                     - загрязнением свариваемых кромок;<br/>                     - окислением свариваемых кромок;<br/>                     - избыточным временем технологической паузы;<br/>                     - слишком низкой или высокой температурой нагретого инструмента</p> | <p>То же</p>  |
| <p>11 Непровар (раковина)</p>   | <p>Полое пространство в плоскости сварного соединения, вызванное, например, недостаточным:<br/>                     - усилием сжатия;<br/>                     - временем остывания</p>  | <p>- Не допускается</p>   |

Продолжение таблицы 5

| Наименование дефектов   | Описание  | Оценка  |
|---|---|---|
| <p>12 Поры, включения инородных тел</p>  | <p>Изолированные, многочисленно разбросанные или локально сконцентрированные поры или включения, вызванные, например:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- газообразованием во время сварки;</li> <li>- загрязненным нагревательным инструментом</li> </ul> | <p>Допускается наличие небольших изолированных пор, если <math>Ds \leq 0,05s</math></p> |

Внешний вид сварных соединений определяют визуально без применения увеличительных приборов путем сравнения оцениваемого соединения с контрольным образцом, а также путем измерения наружного сварочного грата с точностью  $\pm 0,1$  мм [12, 13].

Измерения швов проводят как минимум в двух взаимоположенных зонах по периметру шва.

Контроль ширины и высоты наружного грата осуществляют штангенциркулем по ГОСТ 166. Допускается использование шаблонов с проходным и непроходным размерами [7].

Для контроля симметричности валиков наружного грата по ширине производят замер их с помощью измерительной лупы ЛИ-5х. Затем рассчитывают отношение замеренных размеров с округлением до целого значения процента. Расчет симметричности валиков наружного грата по высоте производят аналогично.

Для измерения смещения кромок может использоваться специальный шаблон. Схема измерения смещения кромок показана на рисунке 14. Шаблон устанавливают по образующей одной из труб, прижимая его к трубе в околошовной зоне. Из-за смещения кромок при этом на другом конце опорной площадки шаблона наблюдается его подъем над поверхностью трубы. С помощью щупа производят замер зазора между поверхностью заготовки и пяткой шаблона. Далее рассчитывают отношение (в процентах)



измеренного абсолютного значения смещения кромок к номинальной толщине стенки трубы. Расчет производят с округлением до целого значения процента.

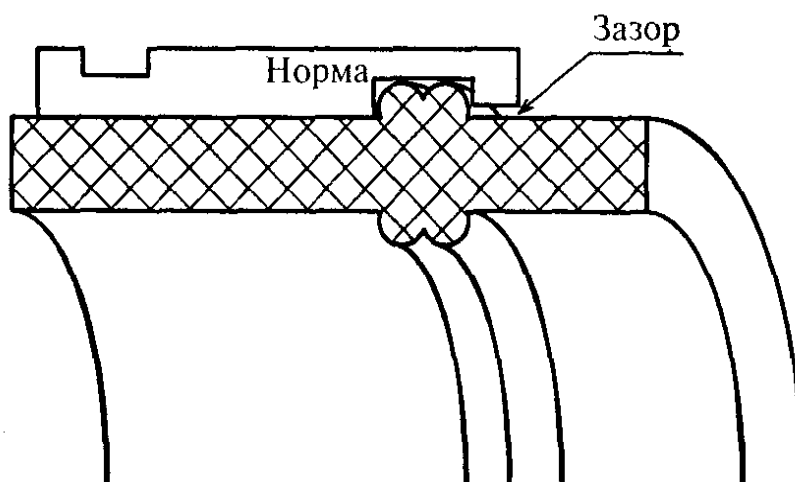


Рисунок 14 -Измерение смещения кромок при помощи шаблона

Согласно проведенному внешнему осмотру полученные сварные соединения, не смотря на изменения режимов сварки, критичных изменений по внешнему виду выявлено не было. Это дает нам основание на продолжение наших изысканий и дальнейшего проведения испытаний полученных сварных соединений.

В качестве испытаний наиболее показательным методом является испытания на растяжение.

После сварки необходимо вырубить из сваренных труб образцы-лопатки тип 2 по ГОСТ 11262.

Образцы-лопатки изготавливают механической обработкой из отрезков сварных соединений длиной не менее 160 мм. Допускается для труб с номинальной толщиной до 10 мм включительно вырубать образцы штампом-просечкой (рисунок 15).

Из каждого контролируемого стыка вырезают (вырубают) равномерно по периметру шва не менее пяти образцов [7, 8].

При изготовлении ось образца должна быть параллельна оси трубы. Толщина образца должна быть равна толщине стенки трубы. Сварной шов должен быть расположен посередине образца с точностью  $\pm 1$  мм. Образцы не должны иметь раковин, трещин и других дефектов. Схема изготовления образцов-лопаток для испытания на осевое растяжение приведена на рисунке 15.

Перед испытанием образцы кондиционируют по ГОСТ 12423 при температуре  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  не менее 2 ч [9].

Испытание на растяжение производится на любой разрывной машине, обеспечивающей точность измерения нагрузки с погрешностью не более 1% измеряемого значения, мощность которой позволяет разорвать образцы (усилие от 5000 до 10000 Н) и которая имеет регулируемую скорость.

При испытании определяют характер (тип) разрушения образца, а также относительное удлинение при разрыве и предел текучести при растяжении.

Испытание на растяжение производят не ранее чем через 24 ч после сварки [8].

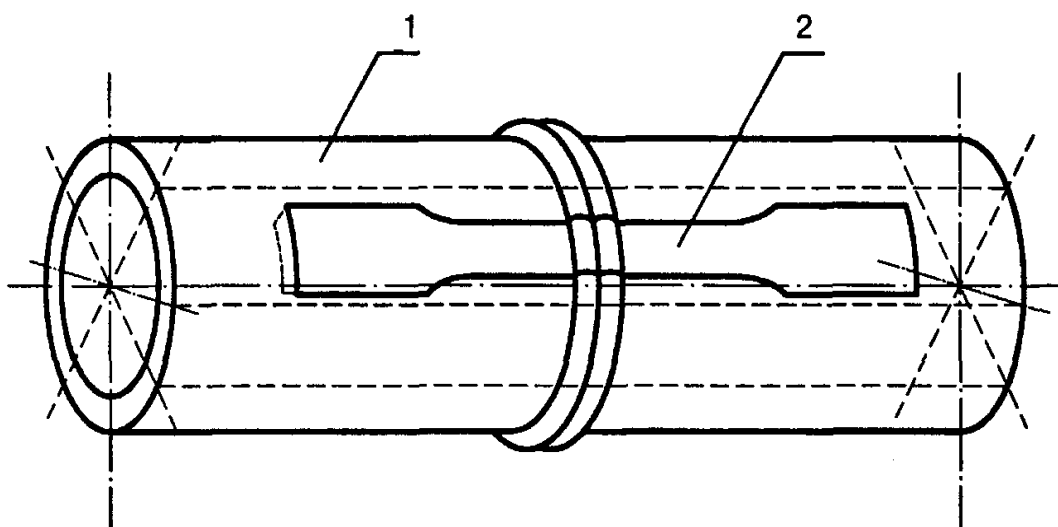


Рисунок 15 - Схема вырезки образцов из сварного соединения для испытания на осевое растяжение

Для правильного анализа полученных результатов необходимо придерживаться рекомендуемых размеров и необходимого количества образцов при проведении испытаний, эти сведения указаны в таблице 6.

Таблица 6 - Размеры и минимальное число образцов из соединений, выполненных раструбной сваркой с закладными нагревателями

| Диаметр трубы, мм  | Ширина образца, мм* | Длина образца, мм |
|--|---------------------|-------------------|
| До 63  | 2,5±0,5 ( 5*)       | длины зоны сварки |
| 63-225   | 4±1,0 ( 10*)        | длины зоны сварки |
| >225   | 4±1,0 ( 10*)        | длины зоны сварки |
| * Максимальное значение, допустимое для ориентировочных испытаний. |                     |                   |

После вырубки лопаток для испытания необходимо проконтролировать полученные образцы. Нельзя допускать на образцах новые дефекты и исключить дефекты, которые ранее невозможно было выявить. Это позволит избежать ошибок при анализе полученных результатов испытаний.

### 1.8.5 Оборудование для проведения экспериментов

С устройством для описания прочности ИР 5047-50 (см. рисунок 16), позволяется определять свойства прочности и форменного изменения прочного материала при растяжении, сменяемых зажимных устройств и принятия измеряемого значения устройство используется для испытания металлов, искусственных материалов, резины, текстильной промышленности, дерева, бумаги и соединительных материалов одинаковой массы. Это устройство применяют в большинстве случаев в продукции для проверки качества. Но также имеется возможность проводить испытания на функционирования механических узлов в том случае, если необходимо измерение и изготовление силы и путей.

Устройство для испытания прочности состоит из устройства нагружения и шкафа управления. В устройстве нагрузки, в котором содержится также зажимное устройство и приемник измеряемого значения для измерения силы, находится процесс испытания, нагрузка испытываемого

образца или узла. Требуемая для этого энергия поставляется от приводного устройства, которое из тиристорного преобразователя с регулировочным устройством, двигателя постоянного тока и 4-х ступенчатой переключаемой передачи, обеспечивает большую область испытательной скорости с высокой постоянной.



Рисунок 16 - Разрывная машина ИР 5047-50

Измерение силы осуществляется недостаточно при помощи сменяемым электронным измерительным трансформатором силы по принципу индуктивного измерения пути.

Измеряемые значения показываются аналогично на диске шкалы, и могут дополнительно указываться на пишущем устройстве и расположены в качестве аналога сигнала зажима на так называемом «10 в /ОС- Выходе», где периферийные приборы как печатающее устройство, записывающее устройство и вычислительное устройство для памяти измеряемой величины,

записывания измеряемой величины или соответственно исчисление измеряемой величины может быть подключено.

Путь перемещения траверсы механически передается в четырех различных передачах на записывающее устройство и может дополнительно регистрироваться на цифровом показательном устройстве.

Записывающее устройство позволяет также записывание силы в зависимости от времени.

Технические характеристики разрывной машины ИР 5047-50 представлены в таблице 7.

Таблица 7 - Технические характеристики:

|   |   |
|---|---|
| Наибольшая предельная нагрузка  | 50 кН   |
| Пределы допускаемой погрешности измерения нагрузки                                | ±1% (в диапазоне нагрузок от 2 до 50 кН)              |
| Скорость перемещения активного захвата (два диапазона, 24 фиксированные скорости) | от 80 до 800 и от 0,5 до 500 мм/мин                   |
| Номинальная цена единицы наименьшего разряда                                      | При индикации нагрузки – 1 Н                          |
|   | При измерении перемещения активного захвата – 0,01 мм |
| Ход подвижной траверсы без захватов   | 800 мм  |
| Ширина рабочего пространства  | 400 мм  |
| Максимальная мощность (питание)   | 1,05 кВт (3N ,380 В, 50 Гц)                           |
| Габаритные размеры (ширина x длина x высота)                                      | Установка испытательная – 900x840x2030 мм             |
|   | Стойка приборная – 1305x585x790 мм                    |
| Масса   | Установка испытательная – 330 кг                      |
|   | Стойка приборная – 100 кг                             |

Данный метод испытаний очень нагляден. Получаемые результаты можно использовать для глубокого анализа и понимания процесса испытания материала и выявляемых дефектов. Не все методы испытаний могут «похвастаться» такой наглядностью и простотой для понимания и анализа.

Получаемые результаты прекрасно «ложатся» в графиках.

### 1.8.6 Механические свойства сварных соединений полиэтиленовых труб, выполненных сваркой встык

Согласно проведенных механических испытаний, получены следующие результаты. Для более понятного анализа и наглядности все результаты по некоторым параметрам были построены зависимости по одинаковым параметрам, что позволило провести оценку результатов в едином формате, не смотря на использование различных материалов.

В испытаниях были использованы полиэтиленовые трубы нескольких производителей и различных марок (см. таблицу 8).

Таблица 8 - ПЭ 63, SDR= 17,6 Испытание на растяжение

| Т, °С | Номер и характеристика образца | Размеры грата b*h | Нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин | Относительное удлинение, % |
|-------|--------------------------------|-------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 210   | 6,5*8,8                        | 4,4*2,2           | 5832,6      | 25,0                       | 23,4                       |
|       | 6,5*9,0                        | 4,3*2,2           | 5965,2      | 25,0                       | 23,9                       |
|       | 6,7*9,2                        | 4,4*1,9           | 6281,3      | 25,0                       | 21,7                       |
|       | 6,6*9,2                        | 4,2*1,8           | 6189,5      | 25,0                       | 22,7                       |
|       | 6,5*9,0                        | 4,3*2,0           | 5965,2      | 25,0                       | 23,9                       |
| 230   | 8,0*6,3                        | 5,8*2,2           | 5139,2      | 25,0                       | 26,5                       |
|       | 8,2*6,3                        | 5,5*2,2           | 5261,6      | 25,0                       | 27,1                       |
|       | 8,2*6,3                        | 5,0*2,2           | 5261,6      | 25,0                       | 26,7                       |
|       | 8,5*6,2                        | 5,4*2,9           | 5373,8      | 25,0                       | 25,8                       |
|       | 8,5*6,3                        | 4,8*2,3           | 5455,3      | 25,0                       | 25,0                       |
| 280   | 8,7*6,3                        | 6,0*2,5           | 5587,9      | 25,0                       | 23,7                       |
|       | 8,8*6,3                        | 6,2*2,5           | 5649,1      | 25,0                       | 24,5                       |
|       | 8,9*6,5                        | 6,5*3,0           | 5893,8      | 25,0                       | 23,8                       |
|       | 8,9*6,3                        | 6,4*2,8           | 5710,3      | 25,0                       | 25,0                       |
|       | 8,6*6,2                        | 6,3*3,1           | 5435,0      | 25,0                       | 24,0                       |

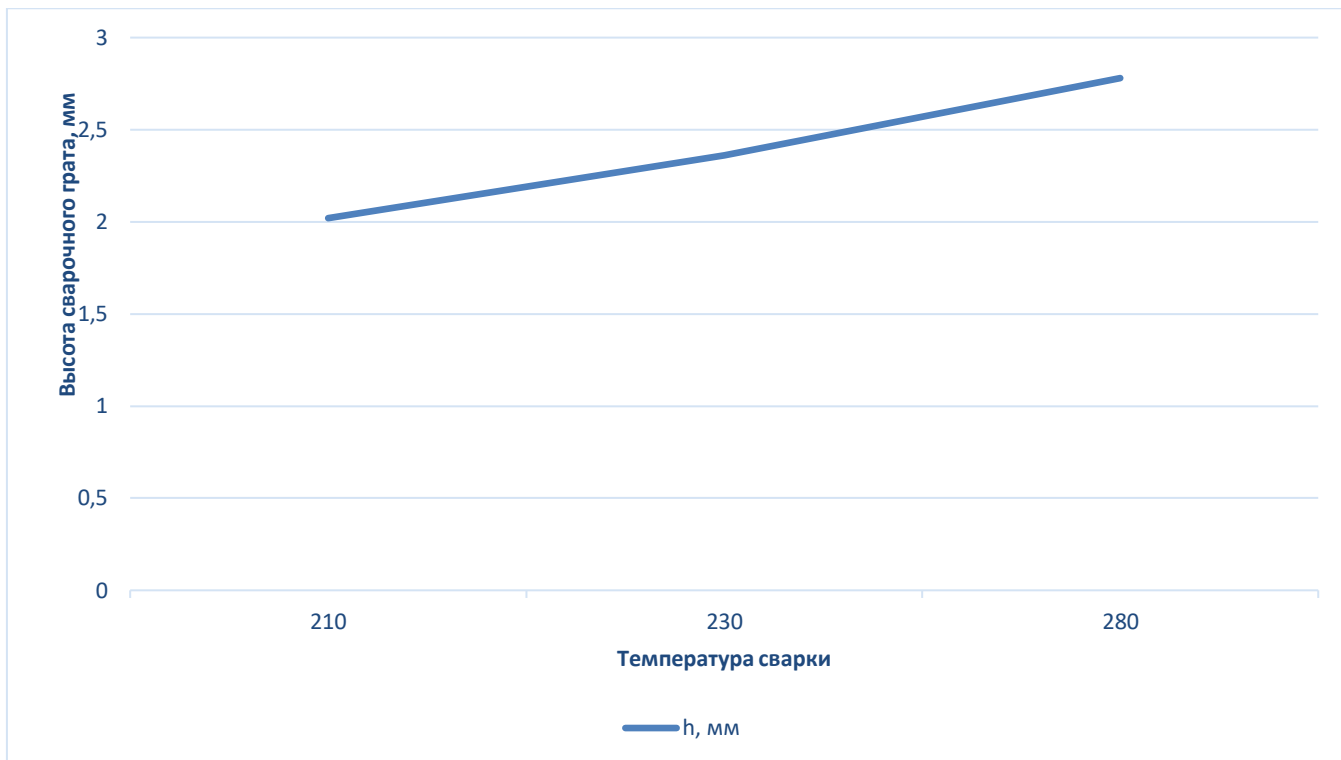


Рисунок 17 – Зависимость высоты сварочного грата от температуры сварки для ПЭ 63, SDR= 17,6

На рисунке 17 представлена зависимость высоты образовавшегося грата от температуры сварки для полиэтиленовой трубы ПЭ 63, SDR= 17,6. В зависимости от параметров сварки сформировалась прямая зависимость на образование грата.



Рисунок 18 – Образцы после испытаний

Испытание сварного шва данного материала показала удовлетворительного качества полученные соединения, в чем можно убедиться наглядно, на рисунке 18 представлены образцы после механических испытаний. Полученные результаты, показали разрушение на одной из лопаток по типу I. Т.е. разрушение произошло по основному материалу не пересекая сварочный шов. Это говорит о правильно подобранном режиме сварного соединения, так как сварное соединение осталось неповрежденным.

Но какие-то выводы делать преждевременно, необходимо провести все запланированные испытания на всех запланированных материалах.



В таблице 9 представлены числовые значения испытания на растяжение ПЭ 80 , SDR=17,6.

Таблица 9- ПЭ80, SDR=17,6 Испытание на растяжение

| Т, °С | Номер характеристика и образца | Размеры грата b*h | Нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин | Относительное удлинение, % |
|-------|--------------------------------|-------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 210   | 8,0*7,3                        | 4,4*2,0           | 5955,0      | 25,0                       | 21,9                       |
|       | 8,0*7,1                        | 4,2*1,9           | 5791,8      | 25,0                       | 21,4                       |
|       | 8,1*7,2                        | 4,3*1,8           | 5944,8      | 25,0                       | 20,9                       |
|       | 8,1*7,4                        | 4,0*2,0           | 6108,0      | 25,0                       | 21,8                       |
|       | 8,1*7,3                        | 4,3*1,9           | 6036,6      | 25,0                       | 21,6                       |
| 230   | 8,5*6,6                        | 6,4*3,5           | 5720,5      | 25,0                       | 22,3                       |
|       | 8,3*6,7                        | 5,6*2,9           | 5669,5      | 25,0                       | 22,8                       |
|       | 8,4*6,9                        | 5,2*3,2           | 5914,2      | 25,0                       | 24,1                       |
|       | 8,5*6,7                        | 5,5*3,0           | 5812,2      | 25,0                       | 22,8                       |
|       | 8,4*6,8                        | 5,5*3,0           | 5822,4      | 25,0                       | 22,9                       |
| 280   | 8,5*6,5                        | 7,4*3,5           | 5638,9      | 25,0                       | 25,9                       |
|       | 8,0*6,5                        | 7,6*2,9           | 5302,4      | 25,0                       | 27,1                       |
|       | 8,3*6,3                        | 7,2*3,2           | 5404,4      | 25,0                       | 26,7                       |
|       | 8,2*6,2                        | 7,5*3,0           | 5200,4      | 25,0                       | 27,0                       |
|       | 8,2*6,5                        | 7,5*3,0           | 5435,0      | 25,0                       | 26,3                       |

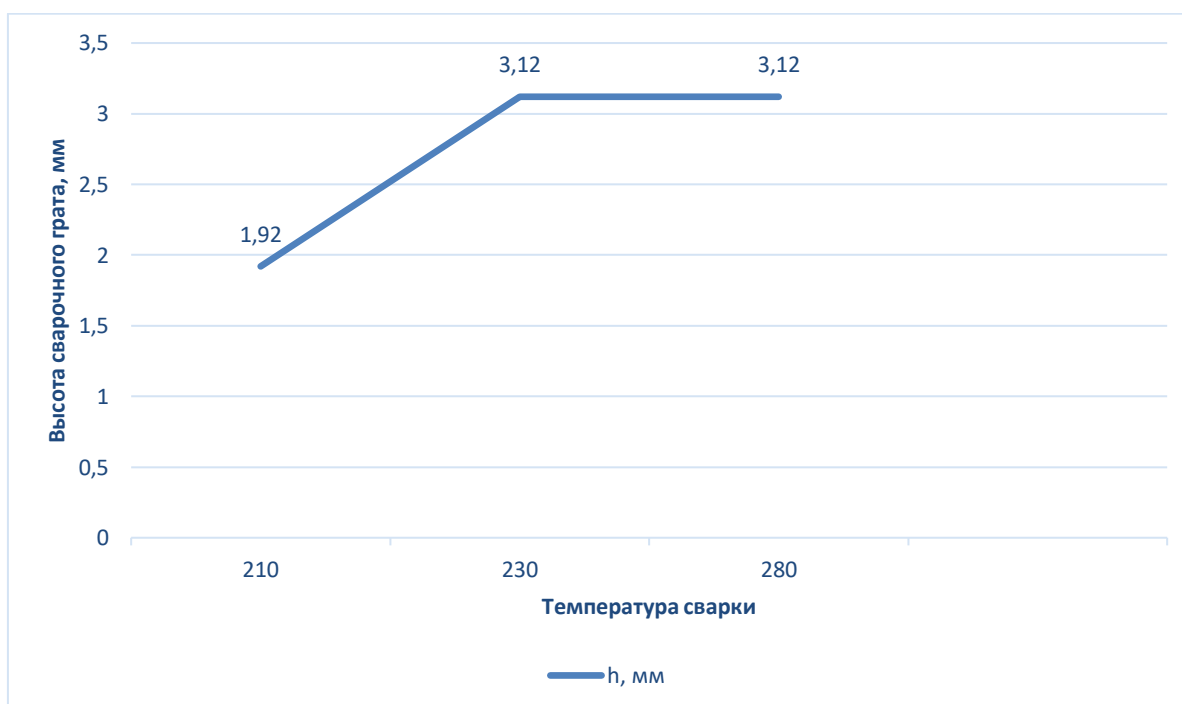


Рисунок 19 – Зависимость высоты сварочного грата от температуры сварки для ПЭ80, SDR=17,6

Данная зависимость показывает получение значений высоты образования сварочного грата от температуры сварки для полиэтиленовых труб ПЭ80, SDR=17,6 (рисунок 19).



Рисунок 20 – Образцы после испытаний

У данной группы образцов (см. рисунок 20) разрыва материала не произошло, что в свою очередь показывает о прекрасной пластичности как исходного материала и полученного сварного шва. Данный материал достойно показал себя на испытаниях на разрыв.

Испытания продолжают.

Следующая группа испытаний прошла для ПЭ 80, SDR=13,6, которые представлены в таблице 10.

Таблица 10- ПЭ 80, SDR=13,6 Испытание на растяжение

| Т, °С | Номер и характеристика образца | Размеры грата b*h | Нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин | Относительное удлинение, % |
|-------|--------------------------------|-------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 210   | 9,6*3,5                        | 6,9*2,7           | 3426,1      | 25,0                       | 14,2                       |
|       | 9,9*3,3                        | 7,0*2,4           | 3324,2      | 25,0                       | 14,7                       |
| 230   | 9,8*3,4                        | 7,0*3,0           | 3395,6      | 25,0                       | 13,8                       |
|       | 9,7*3,5                        | 6,9*2,8           | 3456,7      | 25,0                       | 14,1                       |
| 280   | 9,7*3,5                        | 8,2*3,0           | 3456,7      | 25,0                       | 13,8                       |
|       | 9,6*3,3                        | 7,3*3,5           | 3222,2      | 25,0                       | 14,8                       |

Проведенные испытания не дают полную картину поведения материала в зависимости от температуры сварки на качество полученных соединений. Для лучшего представления необходимо провести сварку при разном времени выдержки. Это поможет наиболее полно увидеть происходящую картину не только со стороны температурного взаимодействия, но и зависимость временного фактора. Для этого мы взяли три временных промежутка 40, 81, 120 секунд, и экспериментально показали применение взятых режимов сварки для водопроводных труб (см. таблицу 11).

Таблица 11 - Режимы сварки полиэтиленовых труб

|                                |       |       |       |
|--------------------------------|-------|-------|-------|
| Температура нагревателя Тн, °С | 230°С | 230°С | 230°С |
| Давление оплавления торцов, кг | 3,1   | 3,1   | 3,1   |
| Давление нагрева торцов, бар   | 0,7   | 0,7   | 0,7   |
| Давление сварки, бар           | 3,1   | 3,1   | 3,1   |
| Высота первичного грата, мм    | 1,5   | 1,5   | 1,5   |
| Время прогрева торцов, сек     | 40    | 81    | 120   |
| Технологическая пауза, сек     | 6     | 6     | 6     |
| Время подъема давления, сек    | 6     | 6     | 6     |
| Время охлаждения, мин          | 11    | 11    | 11    |

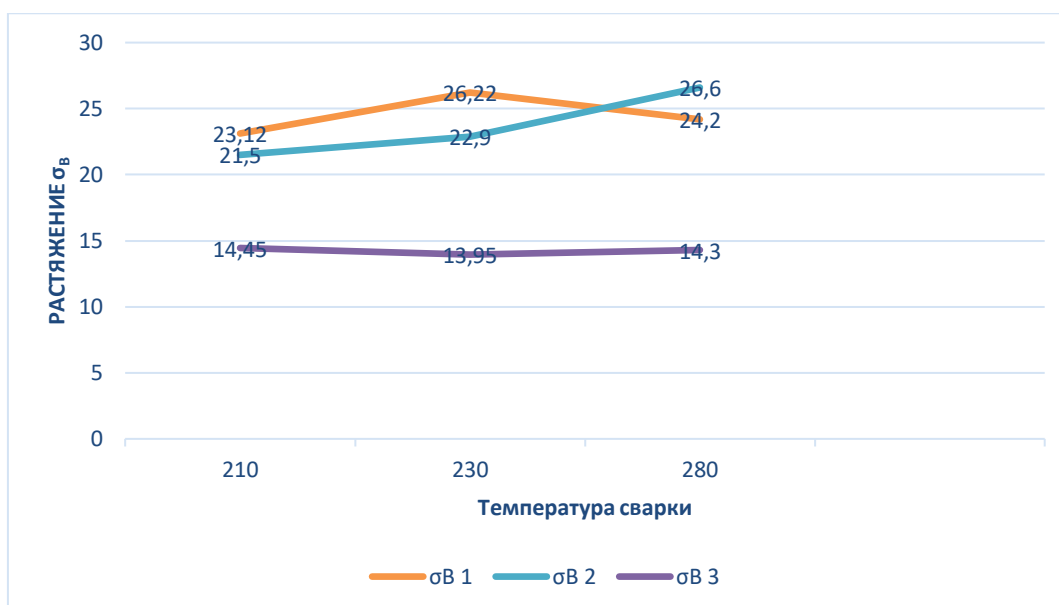


Рисунок 21–Зависимость растяжения от температуры нагрева полиэтиленовых труб различных марок

Для легкости восприятия и наглядности полученных результатов испытаний полиэтиленовых труб было принято решение все полученные результаты объединить в одной зависимости, это продемонстрировано на рисунке 21. Это стало возможным благодаря использованию единого критерия оценки.

Таблица 12- ПЭ 80, SDR=17.6 Испытание на растяжение

| R, сек | Номер и характеристика образца | Размеры грата b*h | Нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин | Относительное удлинение, % |
|--------|--------------------------------|-------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 40     | 8,9*7,2                        | 7,2*2,4           | 6526,0      | 25,0                       | 17,1                       |
|        | 9,1*7,7                        | 6,3*2,7           | 7137,9      | 25,0                       | 16,8                       |
|        | 9,0*7,4                        | 7,2*2,7           | 6791,2      | 25,0                       | 18,6                       |
|        | 9,1*7,3                        | 5,7*2,7           | 6770,8      | 25,0                       | 13,8                       |
| 81     | 8,7*7,0                        | 6,4*2,8           | 6209,9      | 25,0                       | 19,0                       |
|        | 8,8*7,4                        | 6,5*3,0           | 6638,2      | 25,0                       | 18,1                       |
|        | 8,9*7,4                        | 5,8*3,5           | 6709,6      | 25,0                       | 17,9                       |
|        | 9,0*7,4                        | 5,8*3,2           | 6791,2      | 25,0                       | 17,7                       |
| 120    | 8,8*7,4                        | 8,2*3,4           | 6638,2      | 25,0                       | 18,4                       |
|        | 9,0*7,2                        | 10,0*3,7          | 6607,6      | 25,0                       | 18,3                       |
|        | 8,7*6,9                        | 8,6*3,2           | 6118,2      | 25,0                       | 19,5                       |
|        | 8,7*7,2                        | 9,3*3,9           | 6383,3      | 25,0                       | 18,6                       |

В таблице 12 полученные результаты, после механических испытаний ПЭ 80, SDR=17.6, сваренного при различных временах прогрева торцов.

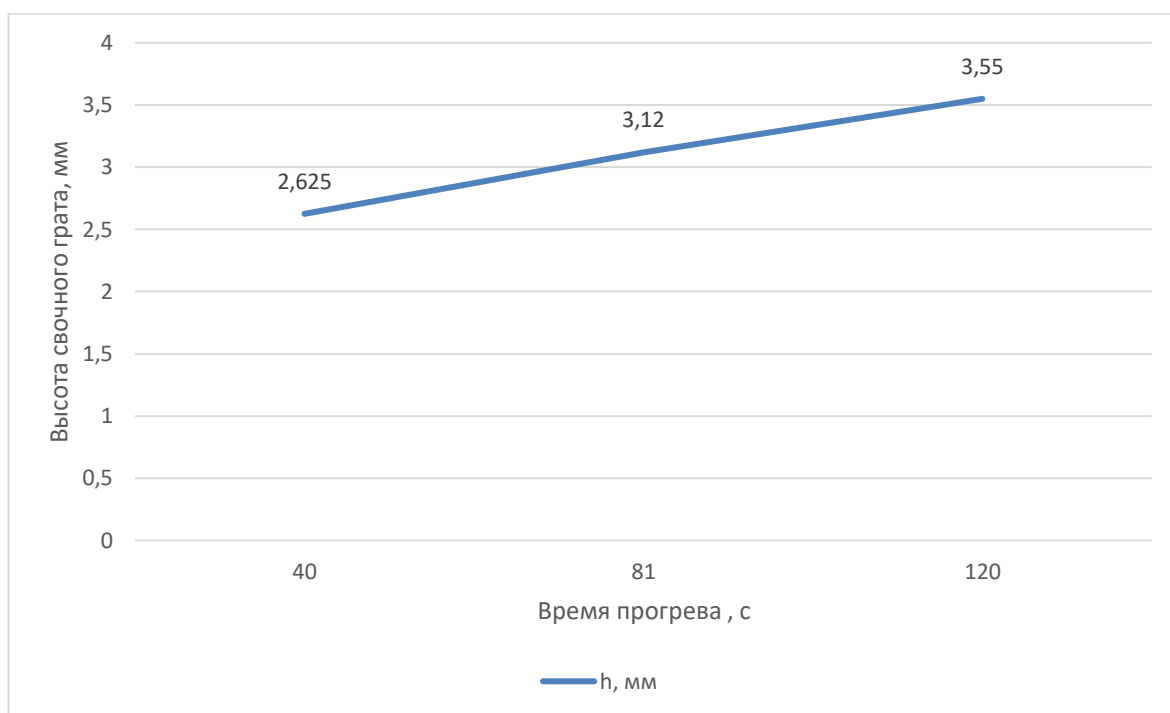


Рисунок 22 – Зависимость высоты сварочного грата от времени прогрева ПЭ80, SDR=17,6

В испытаниях проведенных ранее для полиэтиленовых труб ПЭ80, SDR=17,6 была определена температура сварки для получения качественного сварного соединения. После этого, как выбор наиболее подходящей температуры сварки был сделан, эксперименты продолжились с изменением времени выдержки. Данная зависимость строилась исходя из полученных величин по высоте сварочного грата в зависимости от времени прогрева. Полученный результат был вполне прогнозируемым и подчиняется линейной зависимости исходя из увеличения продолжительности прогрева.

Данный результат наглядно просматривается на построенной кривой (см. рисунок 22).

В таблице 13 представлены режимы сварки для ПЭ 80 SDR=11.0.

Таблица 13- ПЭ 80 SDR=11.0 Испытание на растяжение

| R, сек | Номер и характеристика образца | Размеры грата b*h | Нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин | Относительное удлинение, % |
|--------|--------------------------------|-------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 40     | 9,0*11,3                       | 6,5*2,1           | 10370,3     | 25,0                       | 15,9                       |
|        | 9,0*11,4                       | 5,2*3,0           | 10462,1     | 25,0                       | 16,3                       |
|        | 8,5*11,2                       | 5,8*2,2           | 9707,5      | 25,0                       | 18,3                       |
|        | 8,6*11,0                       | 6,6*2,0           | 9646,3      | 25,0                       | 19,0                       |
| 81     | 8,5*11,0                       | 8,0*3,0           | 9534,1      | 25,0                       | 16,4                       |
|        | 8,6*11,0                       | 7,5*3,1           | 9646,3      | 25,0                       | 16,4                       |
|        | 8,5*11,3                       | 8,4*3,0           | 9789,1      | 25,0                       | 17,0                       |
|        | 8,8*11,4                       | 7,0*3,4           | 10227,5     | 25,0                       | 16,1                       |
| 120    | 8,5*10,9                       | 9,5*3,7           | 9442,4      | 25,0                       | 17,3                       |
|        | 8,5*11,3                       | 9,9*3,6           | 9789,1      | 25,0                       | 16,1                       |
|        | 8,4*11,0                       | 9,9*3,6           | 9422,0      | 25,0                       | 16,8                       |
|        | 8,9*10,9                       | 8,9*3,7           | 9218,0      | 25,0                       | 18,0                       |

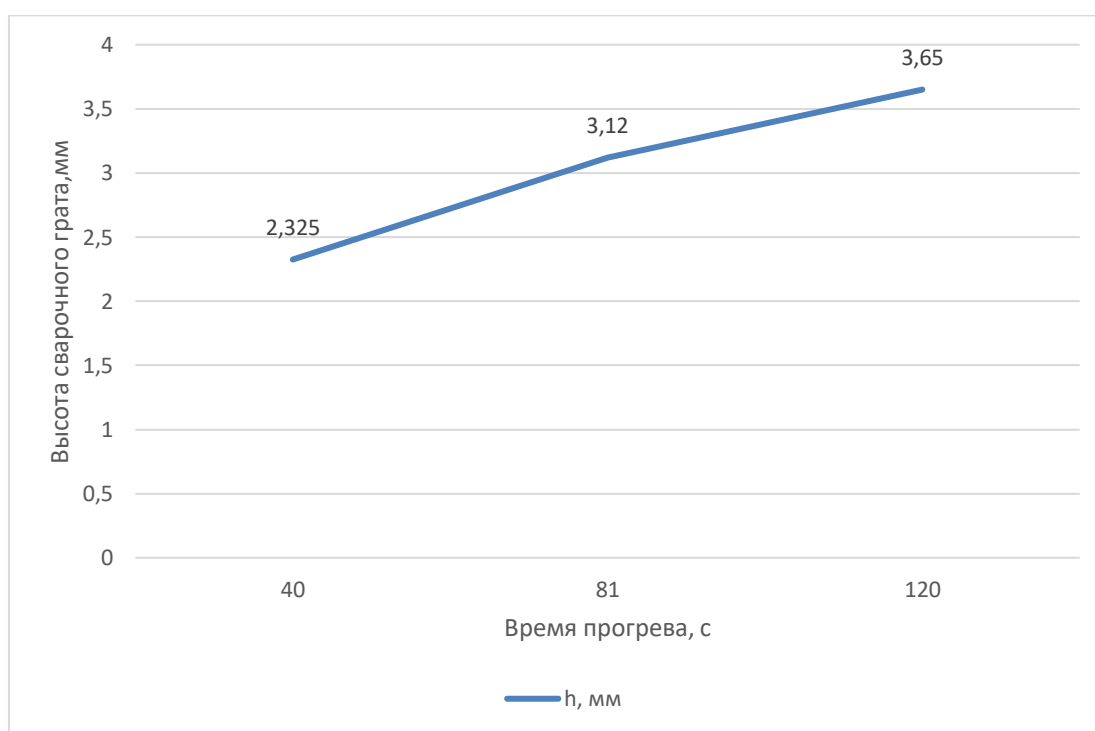


Рисунок 23 - Зависимость высота сварочного грата от времени прогрева ПЭ 80 SDR=11.0

На рисунке 23 представлен аналогичный результат, получен и для другой группы образцов, это полиэтиленовые трубы ПЭ 80 SDR=11.0. та же простая линейная зависимость упрощает анализ результатов и спасает от неверной трактовки в конце испытаний.



Подобная простота конечна, облегчает анализ и исключает ошибки при дальнейшей обработке результатов.



Рисунок 24 – Образцы после испытаний

У данных образцов произошло разрушение по основному материалу, фото образцов представлено на рисунке 24. Это говорит об удовлетворительных результатах сварки. Полученные разрушения относятся к типу I, значит сварной шов выполненный с некоторыми корректировками от рекомендуемых производителем сварочного оборудования, тоже могут быть использованы без риска получения ненадлежащего качества сварные соединения.

Подобные изыскания можно проводить бесконечно долго и ростом вариаций измененных режим сварки могут получаться весь противоречивые результаты.

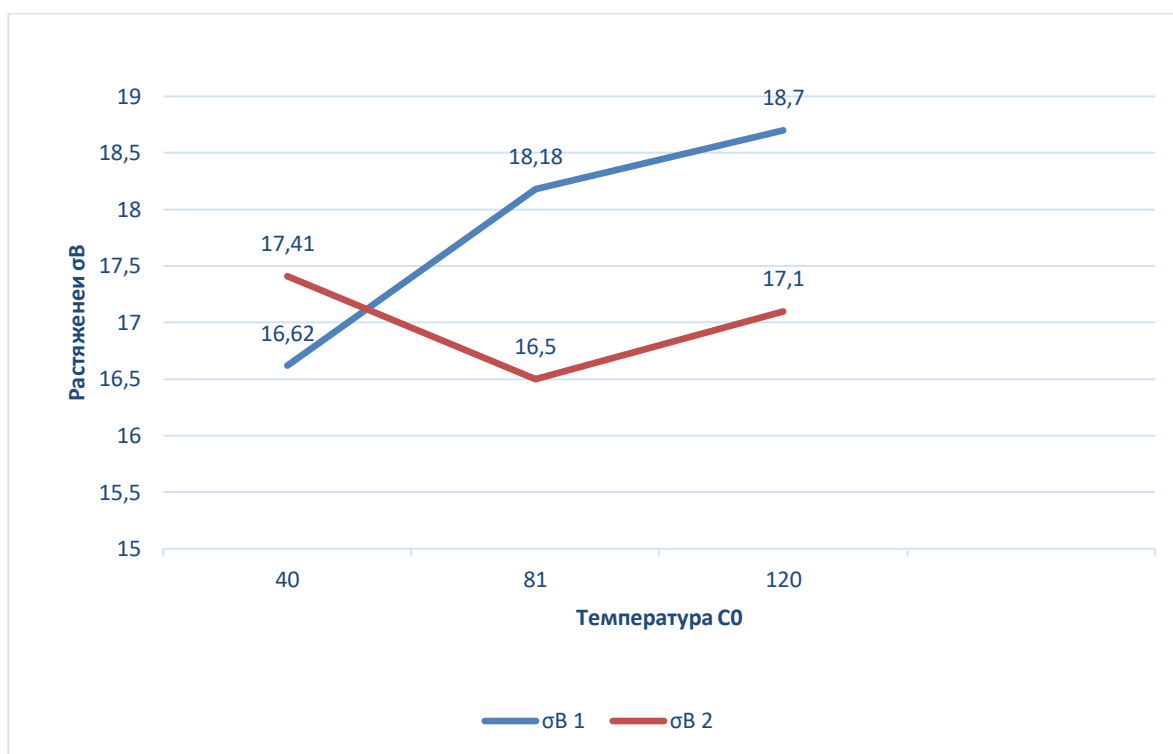


Рисунок 25–Зависимость величины растяжения от времени прогрева ПЭ 80, SDR=17,6/ SDR=11,0

Графическое изображение испытаний представлено на рисунке 25. Эти кривые для одной марки полиэтилена ПЭ 80 весьма спорна. Так как полученный прогиб можно читать по-разному в зависимости от точки зрения на полученный результат. Несмотря на противоречивость все же есть объединяющая составляющая данных зависимостей, это факт получения удовлетворительных значений. Подобная картина может быть результатом разности величин по толщине стенок материала. Что тоже не дает нам возможность оценивать эти результаты как идентичные по своей природе образования. Скорее это даже показывает определенную логику в происходящем.

Полученные результаты показывают хорошую стойкость и прочность сварного шва, т.к. разрыв образцов происходит по основному материалу (тип I), не разрушая сварной шов.

Данные результаты доказывают превосходную свариваемость полиэтилена, несмотря на изменения параметров сварки в широком интервале параметров.



Следующая серия исследования будет связана со сменой материала. Это необходимо для получения ответа на поставленные задачи. Их решение сводится к повторению предыдущей серии опытов и проведения серии последующих испытаний.

Однако, применение аналогичных режимов для сварки труб из полипропилена не позволило обеспечить необходимое качество и прочность сварных соединений. Что мы видим после проведенных механических испытаний полипропиленовых труб.

Характер разрушений (тип III) говорит о ненадлежащего качества полученных сварных соединений, так как разрушение произошло по линии стыка сварного шва. Такого рода разрушения говорят об отсутствии диффузии материалов при сварке.

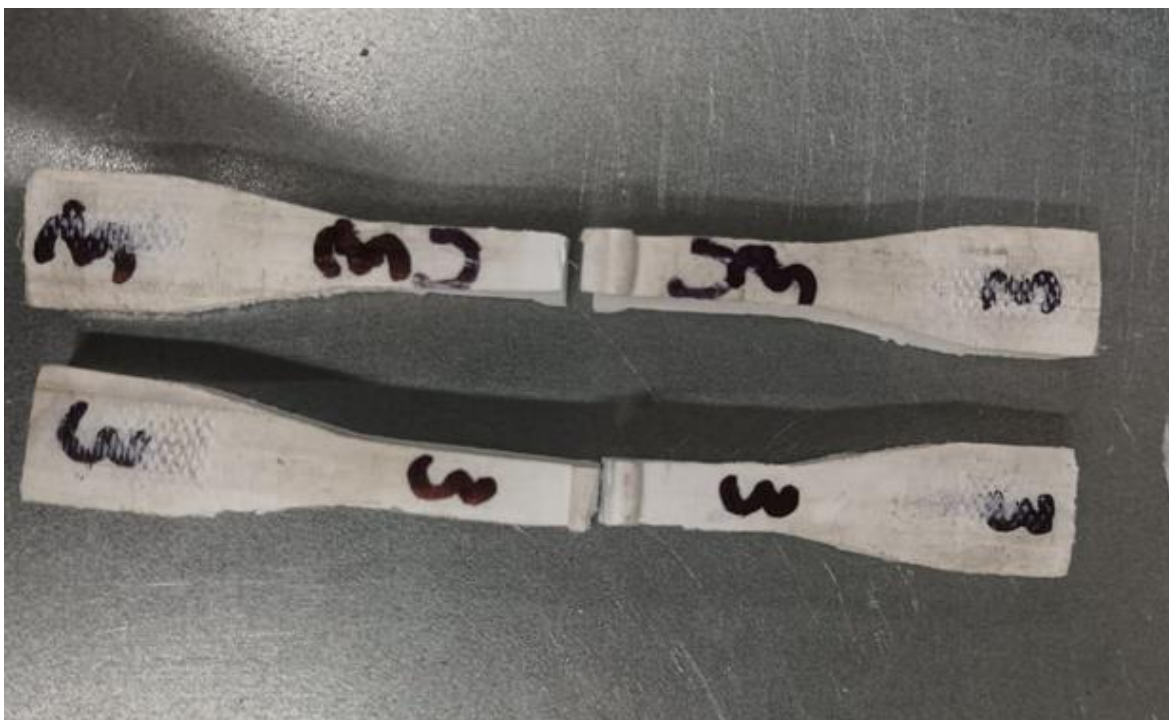


Рисунок 26 – Полипропиленовые образцы сваренных труб после механических испытаний

В рамках магистерской работы поставлена цель повышения качества сварного соединения, для его достижения необходимо провести сравнительных анализ по сварке полипропилена и оценить его свариваемость

нагретым инструментом встык и определить параметры и режимы технологического процесса сварки, позволяющие обеспечивать максимальную прочность сварных соединений (рисунок 26).

Для решения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать методику проведения исследования влияния параметров и режимов сварки нагретым инструментом на свойства сварных соединений полипропиленовых труб;

- предложить необходимое оборудование для проведения экспериментов;

- провести эксперименты по влиянию режимов сварки на качество формирования сварных соединений из полипропиленовых труб и их прочность;

- провести анализ полученных результатов и на их основе разработать технологические рекомендации по сварке полипропиленовых труб.

## 2 Методика проведения исследований

Полипропилен материал белого цвета. Получается в результате полимеризации пропилена.

Не смотря на близкое родство с полиэтиленом, значительно более прочнее и более стойкое ко многим агрессивным средам.

Это позволяет расширить возможности по применению данного материала. Не смотря на ряд преимуществ данный материал плохо изучен при сварке встык. Даже производители сварочного оборудования не дают точных рекомендаций по сварке полипропилена на оборудовании для сварки нагретым инструментом. На сайте у компании «Волжанин» есть рекомендации по сварке полипропилена. Несмотря на это, данные режимы сварки носят рекомендательных характер [39].

Для анализа был выбран полипропилен диаметра 63 мм и толщиной стенки 10,5 мм. Это наиболее распространённое наименование полипропиленовых труб на сегодняшний день из представленных среди доступных в наличии материалов для приобретения на прилавках магазинов. Мы сознательно не брали для исследования полипропиленовые трубы, армированные различными материалами, так как нам интересен только полипропилен. Так как при сварке встык материалы, которыми армируют полипропиленовые трубы могут влиять на качественный результат [40].

Данный материал был сварен как в рекомендуемых режимах по паспорту к оборудованию, так и с измененными параметрами. Как было сказано выше, производитель оборудования рекомендовал данные режимы для сварки полипропилена представлены в таблице 14.

Это позволит оценивать качество сваренных образцов полипропиленовых труб в аналогичных условиях к полиэтилену. Что в свою очередь позволит нам более широко взглянуть на полученные результаты нашего эксперимента. Забегая вперед, хочется упомянуть в отличительных свойствах экспериментальных материалов в том, что полипропилен не

обладает такой же пластичностью как полиэтилен. Это в свою очередь может привести к более хрупким разрушениям сварного материала.

Таблица 14 - ПП, SDR=6 Технологические параметры сварки полипропиленовых труб

|                                 |       |       |       |       |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Температура нагревателя Тн, °С  | 210°С | 220°С | 230°С | 200°С |
| Давление оплавления торцов, бар | 2,1   | 2,1   | 2,1   | 2,1   |
| Давление нагрева торцов, бар    | 0,5   | 0,5   | 0,5   | 0,5   |
| Давление сварки, бар            | 2,1   | 2,1   | 2,1   | 2,1   |
| Высота первичного грата, мм     | 1,6   | 1,6   | 1,6   | 1,6   |
| Время прогрева торцов, сек      | 105   | 105   | 105   | 105   |
| Технологическая пауза, сек      | 7     | 7     | 7     | 7     |
| Время подъема давления, сек     | 8     | 8     | 8     | 8     |
| Время охлаждения, мин           | 14    | 14    | 14    | 14    |

## 2.1 Проведение механических испытаний

Перед испытанием на образцы наносят необходимые метки. Метки не должны ухудшать качество образцов или вызывать разрыв образцов в местах меток.

Толщину и ширину образцов измеряют в трех местах, в середине и на расстоянии 5 мм от меток. Из полученных значений вычисляют средние арифметические величины, по которым вычисляют начальное поперечное сечение  $A_0$ .

Образцы, у которых минимальное и максимальное значения толщины или ширины различаются более чем на 0,2 мм, не испытывают.

Образцы закрепляют в зажимы испытательной машины по меткам, определяющим положение кромок зажимов таким образом, чтобы продольные оси зажимов и ось образца совпадали между собой и направлениям движения подвижного зажима. Зажимы равномерно затягивают, чтобы исключалось скольжение образца в процессе испытания, но при этом не происходило его разрушения в месте закрепления.

Испытания проводят при температуре  $(296 \pm 2)$  К  $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$  и относительной влажности  $(50 \pm 5)\%$ , если в нормативно-технической документации на материал нет других указаний.

Испытания проводят при скорости раздвижения зажимов испытательной машины, предусмотренной в нормативно-технической документации на материал, которая должна соответствовать одной из указанных в таблице 15.

Таблица 15 - Оптимальные скорости нагружения образцов

| Скорость, мм/мин | Допускаемая погрешность, мм/мин |
|------------------|---------------------------------|
| 1                | $\pm 0,5$                       |
| 2 (2,5)          | $\pm 0,4$                       |
| 5                | $\pm 1,0$                       |
| 10               | $\pm 1,0$                       |
| 20 (25)          | $\pm 2,0$                       |
| 50               | $\pm 5,0$                       |
| 100              | $\pm 10,0$                      |
| 200 (250)        | $\pm 20,0$                      |
| 500              | $\pm 50,0$                      |

При этом выбирают максимальную из приведенных в таблице 15 скорость так, чтобы время от момента приложения нагрузки к образцу до его разрушения составляло не менее 1 мин при испытании материалов, имеющих предел текучести, и не менее 30 с для материалов, не имеющих предела текучести.

Перечень определяемых показателей должен соответствовать нормативно-технической документации на материал.

При испытании измеряют нагрузку и удлинение образца непрерывно или в момент достижения предела текучести, максимальной нагрузки, в момент разрушения образца. При записи кривой «нагрузка—удлинение» определяют характеристики в соответствии с рисунком 27.

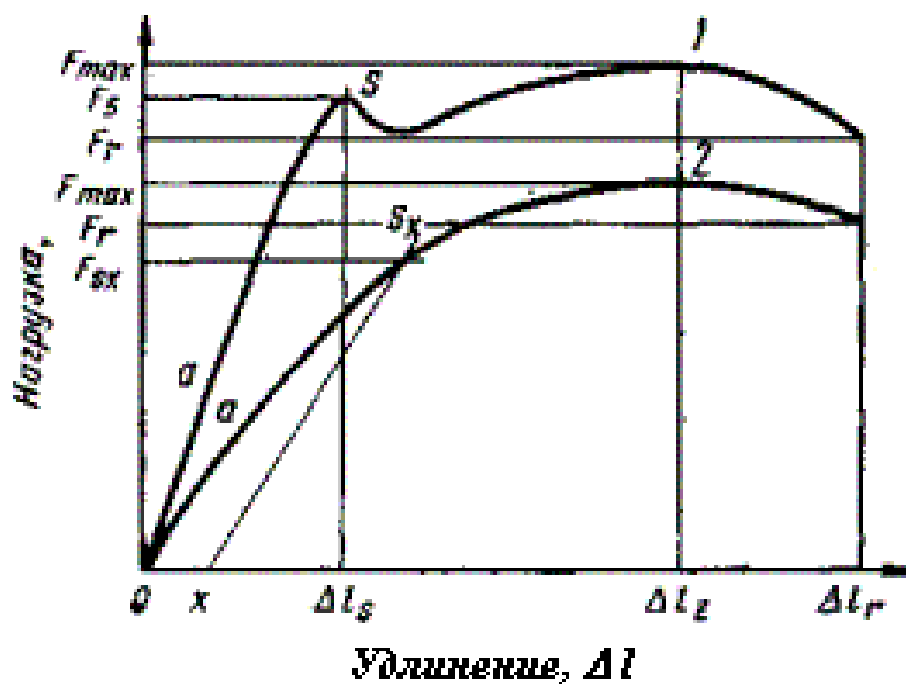


Рисунок 27 - График «нагрузка- удлинение»

1—материал имеет предел текучести;

2—материал не имеет предела текучести;

a—участки прямолинейного направления кривой в начале кривой «нагрузка- удлинение»;

S—предел текучести; x—отрезок на оси удлинения для определения условного предела текучести;

Sx—условный предел текучести.

Образцы, которые в процессе испытания разрушаются за пределами рабочей части, или у которых в процессе испытания обнаружены дефекты (пузыри, инородные для материала включения, внутренние трещины и т. п.); в расчет не принимают.

В случаях проведения эксперимента в расчет не принимают образцы, которые в процессе испытания разрушаются за пределами расчетной длины или у которых в процессе испытания обнаружены дефекты (пузыри, инородные для материала включения, внутренние трещины и т. п.).

Для образцов, удлиняющихся с образованием шейки, следует учитывать также результаты, полученные на образцах, у которых шейка распространилась за пределы рабочей части образца, но разрушение его произошло не в месте соприкосновения зажима с образцом.

Критерием определения качества сварного соединения, выполненного сваркой встык, является характер разрушения образцов.

Различают три типа разрушения:

- тип I - наблюдается после формирования "шейки" - типичного сужения площади поперечного сечения образца во время растяжения на одной из половин испытываемого образца. Разрушение наступает, как правило, не ранее чем при достижении относительного удлинения более 50% и характеризует высокую пластичность. Линия разрыва проходит по основному материалу и не пересекает плоскость сварки;

- тип II - отмечается при достижении предела текучести в момент начала формирования "шейки". Разрушение наступает при небольших величинах относительного удлинения, как правило, не менее 20 и не более 50% и характеризует низкую пластичность. Линия разрыва пересекает плоскость сварки, но носит вязкий характер;

- тип III - происходит до достижения предела текучести и до начала формирования "шейки". Разрушение наступает при удлинении образца, как правило, не более 20% и характеризует хрупкое разрушение. Линия разрыва проходит точно по плоскости сварки.

В данном разделе магистерской работы были описаны методы испытаний для сварных соединений. А также описаны свойства полипропилена, к испытаниям которого мы приступили в дальнейшем.

Применение нового подхода для привычных нам материалов позволит расширить, как нам кажется, возможности использования как материала, так и оборудования, метода сварки в целом. Слишком больших целей мы не ставим, так как можем столкнуться с отрицательным результатом. Что в свою очередь тоже может быть не так уж и плохо.

### **3 Влияние режимов сварки на качество формирования сварных соединений из полипропиленовых труб и их прочность.**

После осмотра образцов по результатам вырубки, были отобраны образцы не пригодные к анализу. У многих из них обнаружены воздушные пузыри посередине сварного шва. Этот дефект не был виден пока не появилась возможность взглянуть на сварной шов в срезе (после вырубки образцов). На рисунке 28 изображена воздушная полость в сварном шве у образца из полипропилена.



Рисунок 28 – Захват воздуха при стыковке торцов на этапе осадки



Именно с данным дефектом мы столкнулись при внешнем осмотре вырубленных образцов для испытаний на растяжение.

Данные образцы были изъяты и не допущены для дальнейших испытаний.

Наличие данного дефекта говорит о плохом качестве сварного шва. Необходимо уточнить режимы сварки для исключения данного дефекта. Подобное можно будет избежать при увеличении давления и уменьшении времени на осадку. Так как воздушный пузырь, полученный в сварном шве, приведет к плохому сцеплению материалов торцов и быстрому разрушению по линии сварного шва при испытаниях на растяжение [31].

При правильном подходе к решению данной задачи мы сможем уйти от выявленного дефекта и повысить поверхность контакта между материалами, данные испытаний указаны в таблице 16.

Таблица 16- ПП, SDR=6 Испытание на растяжение

| Т, °С | Номер и характеристика образца | Размеры грата b*h | Нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин | Относительное удлинение, % |
|-------|--------------------------------|-------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 210   | 10,5*11,0                      | 7,5*3,5           | 2046        | 25,0                       | 19,33                      |
|       | 10,5*10,6                      | 7,1*2,9           | 1796        | 25,0                       | 17,42                      |
| 220   | 10,5*9,2                       | 7,9*3,1           | 1147        | 25,0                       | 7,03                       |
|       | 10,5*9,4                       | 7,8*2,7           | 1405        | 25,0                       | 18,42                      |
| 230   | 10,5*10,1                      | 7,6*3,7           | 1387        | 25,0                       | 5,83                       |
|       | 10,5*10,3                      | 8,3*2,4           | 1049        | 25,0                       | 5,07                       |
| 200   | 10,5*10,9                      | 6,7*2,6           | 1834        | 25,0                       | 17,63                      |
|       | 10,5*11,0                      | 7,0*2,7           | 1390        | 25,0                       | 16,60                      |

На рисунке 29 представлены некоторые образцы, которые в последствии будут подвергнуты испытанию на растяжение.



Рисунок 29 – Образцы полипропилена перед испытаниями



Рисунок 30 – Зависимость относительного удлинения при растяжении полипропилена от температуры нагрева

Полипропилен менее пластичен. Данный вывод нам напрашивается в связи с «отрицательными» результатами сваренных встык образцов.

Метод испытания был выбран один на два разных по своим составам материалов для наглядности анализа полученных результатов.

Наличие внутренних дефектов, выявленных у ряда образцов, не позволило использовать данные «лопаточки». Это в свою очередь, говорит о получении ненадлежащего качества сварных соединений. Что следует нам доработать режимы для получения сварных швов надлежащего качества, способных пройти испытания на разрывной машине. Для решения подобной задачи нам необходимо детально проработать циклограмму сварки встык.

Как выяснилось, не достаточно только менять температуру сварки, это можно наглядно наблюдать на кривой изображенной на рисунке 30. В эксперименте со сваркой полиэтилена нам дало неплохие результаты, но в экспериментах с полипропиленом такого эффекта добиться не получилось,

Для дальнейшего продвижения нам необходимо было понять причины «провала» эксперимента.

Из графика мы видим дальнейшее увеличение температуры нагрева торцов не привело к улучшению качества образования сварного соединения, а напротив даже стало хуже.

Из многих источников мы видим основным и широко распространённым способом сварки для полипропилена является сварка внахлест.

Основным отличительным свойством данного метода является сила «трения», с которой нагретые края трубы и муфты контактируют для получения сварного соединения. Что наводит на определенные размышления относительно необходимости увеличения времени воздействия на нагретые торцы труб.

Особенность сварки внахлест нам показывает о влиянии силы с которой труба входит в муфту позволяет лучше схватиться материалу за счет

уменьшения возможности образования внутренних дефектов. Для сварки встык увеличение площади касания свариваемых торцов может достигаться за счет увеличения времени прогрева, так как данный способ не позволяет другого увеличения диффузии свариваемых поверхностей.

В связи с этим был предложен следующий режим для сварки полипропиленовых труб (таблица 17).

Таблица 17 - Технологические параметры сварки полипропиленовых труб

|                                    |       |
|------------------------------------|-------|
| Температура нагревателя $T_n$ , °C | 210°C |
| Давление оплавления торцов, бар    | 2,1   |
| Давление нагрева торцов, бар       | 0,5   |
| Давление сварки, бар               | 2,1   |
| Высота первичного грата, мм        | 1,6   |
| Время прогрева торцов, сек         | 120   |
| Технологическая пауза, сек         | 7     |
| Время подъема давления, сек        | 8     |
| Время охлаждения, мин              | 14    |

Таблица 18- ПП, SDR=6 Испытание на растяжение полипропиленовых труб

| T, °C | Номер и характеристика образца | Размеры грата b*h | Нагрузка, Н | Скорость испытания, мм/мин | Относительное удлинение, % |
|-------|--------------------------------|-------------------|-------------|----------------------------|----------------------------|
| 210   | 10,5*10,5                      | 10,1*3,4          | 2117        | 25,0                       | 17,32                      |
|       | 10,5*10,5                      | 10,2*3,5          | 2201        | 25,0                       | 18,34                      |
|       | 10,5*10,4                      | 10,1*3,5          | 2168        | 25,0                       | 18,79                      |
|       | 10,5*10,5                      | 10,2*3,5          | 2270        | 25,0                       | 19,05                      |
|       | 10,5*9,8                       | 10,2*3,6          | 2371        | 25,0                       | 19,12                      |

В таблице 18 внесены значения испытаний полипропиленовых труб, а на рисунке 31 изображены в виде зависимости относительного удлинения от величины нагрузки.

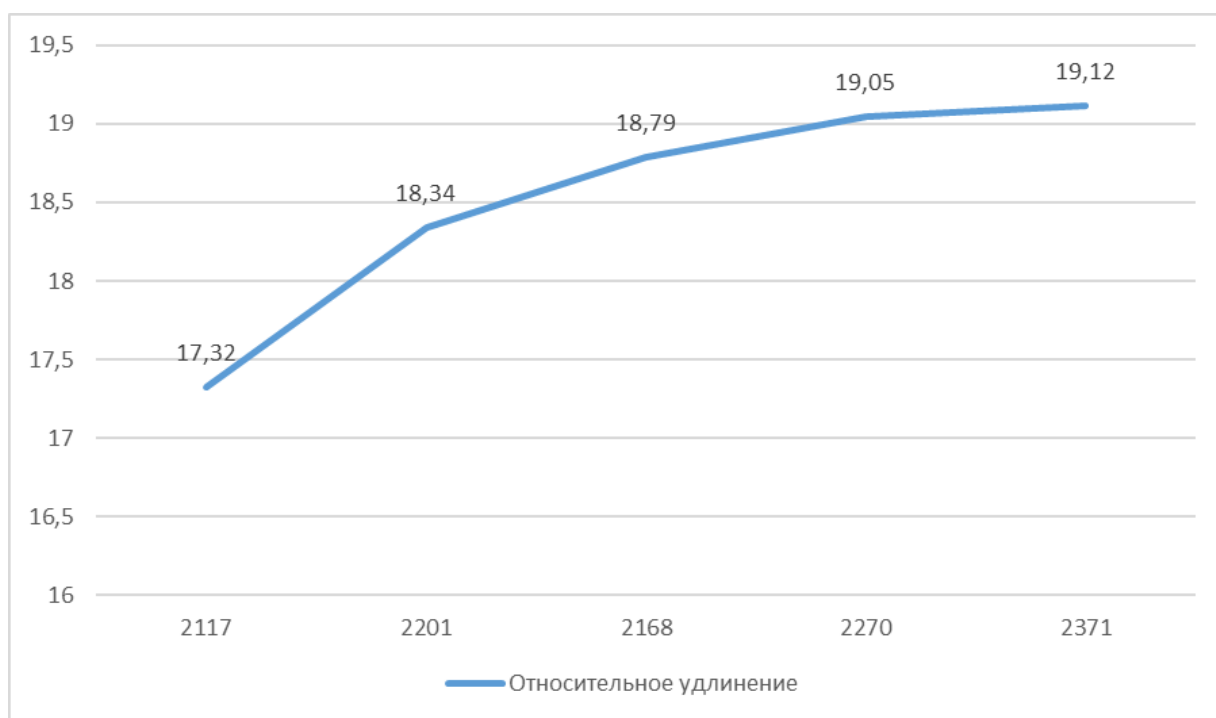


Рисунок 31 – Зависимость относительного удлинения от величины нагрузки на материал для полипропиленовой трубы

Внешний осмотр образцов перед испытаниями на растяжение не выявил наглядно дефекты. А полученные «удовлетворительные» результаты испытания на растяжение показывает об отсутствии внутренних дефектов. Это позволило нам взять полученные результаты за основу выводом по данной работе.

В рамках данной работы задача стояла в подборе режима сварки для полипропиленовых труб встык с целью расширения возможности для эксплуатации оборудования для сварки встык нагретым инструментом.

Полученные результаты говорят о схожести использованных при экспериментах материалов и возможности использования одного оборудования для сварки. Полученные результаты говорят о значительном улучшении сварного соединения.

#### **4 Анализ полученных результатов и разработка технологических рекомендаций по сварке полипропиленовых труб.**

Многие производители и даже потребители сварочного оборудования давно стали заложниками ситуации, что сварка нагретым инструментом встык используется исключительно для полиэтилена. К сожалению, у производителей сложилась такая традиция сваривать полиэтилен и полипропилен отлнчнтельно друг от друга, не смотря на сходства в свойствах [39].

На сегодняшний день сварка полипропилена традиционного свелась к сварка исключительно враструб. Есть свое оборудование и целый спектр комплектующих для этого метода сварки. Хотя материал не справедливо отделили от своего ближайшего «родственника». Такое не справедливое разделение привело к удорожанию процесса сварки.

Казалось бы, очень схожие материалы не должны так кардинально разделяться.

Как показала наша работа объединение полиэтилена и полипропилена в один способ сварки дело ближайшего времени. Ввиду распространения этих материалов и доступности сварочного оборудования мы сможем уйти от муфтового соединения и перейти в стыковое. Это позволит облегчать процесс сварки как технологически, так затраты и вес готового изделия.

Мы не хотим все цело утверждать о революции в мире сварки полимеров только лишь расширив возможности оборудования для сварки, но говорить о том, что это позволит шире взглянуть на метод контактно-прессовой сварки можем смело.

Тем самым хотелось подытожить, в начале магистерской работы ставили цель: повышение качества сварных соединений полипропиленовых труб, выполненных сваркой нагретым инструментом встык путем определения оптимальных параметров и режимов сварки. В ходе самой работы мы по началу получили отрицательные результаты сварки, которые

могли говорить только о том, что полипропилен неспроста был отделен от полиэтилена по способу соединения. Хотя физика процесса соединения говорит о сходстве и родстве процесса.

Благодаря пониманию последнего можно было продолжить наши изыскания для более тщательного анализа результатов и корректировки режимов сварки. Теперь же можно рассматривать эти два материала как действительно «родственников», которых объединяет способ сварки.

Хотя, не смотря на явные положительные результаты, нельзя говорить только о плюсах данного метода сварки. Недостаток все же есть. При сварке встык образуется грат с двух сторон соединения. Это несомненно плохо для полезного просвета внутри трубы. Говоря иными словами, уменьшается сечение трубы в местах сварки, так как грат образуется с двух сторон сварного соединения.

## Заключение

Согласно результатам, проведенных испытаний сварка встык хорошо применима не только для полиэтилена, а так же для полипропилена. Подобранный режим позволяет получить удовлетворительного качества сварное соединение. Распространенный способ сварки встык для полиэтилена может быть применен для полипропилена в бытовых условиях.

Также механические испытания показали удовлетворительную чувствительность полимерных материалов к длительному нагружению и выявил закономерность толщины грата от температуры сварки понижающий стойкость к нагрузкам при уменьшении размеров грата.

Как показали механические испытания, качество сварных швов полиэтиленовых и полипропиленовых труб оказались хорошим. Следовательно, оборудование используемое для сварки полиэтиленовых труб также может использоваться для сварки полипропиленовых труб с незначительными корректировками режимов сварки.

Из выше сказанного следует, возможности оборудования позволяют смело его использовать. Данный метод сварки не требует изготовление муфт, разводов и других переходников и соединителей.

На ряду с этим проектирование, разработка, изготовление и выпуск целого ряда оборудования для сварки внахлест привело разделению схожих по свойствам материалов.

Согласно полученных результатов испытаний сварных швов полипропиленовых труб, можно рекомендовать производителям оборудования по сварке полиэтиленовых труб расширять возможности эксплуатации оборудования. Тем самым расширить возможности использования сварочного оборудования.



## Список используемой литературы

- 1.Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высшая школа, 1986. 207с.
- 2.Балабинова Г.В., Истратов И.Ф. Контроль качества сварных соединений из пластмасс в строительстве. М.: Стройиздат, 1975. 192с.
- 3.Басин В.С. Адгезионная прочность. М.: Химия, 1981. 208с.
- 4.Вакула В.Л., Притыкин Л.М. Физическая химия адгезии полимеров. М.: Химия, 1984. 224с.
- 5.Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов. М. из- во Химия, 2001. 376с.
- 6.Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластических масс: учебное пособие для рабочего образования. М.: Химия, 1987. 168с.
- 7.ГОСТ 166-89 Межгосударственный стандарт. Штангенциркуль. Технические условия
- 8.ГОСТ 11262- 80 Пластмассы. Метод испытания на растяжение
- 9.ГОСТ 12423-2013 Пластмассы. Условия конденционирования и испытания образцов (про)Метод испытания на растяжение
- 10.ГОСТ 18599- 2001 Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия
- 11.ГОСТ 2874-82 Вода питьевая
- 12.ГОСТ 54792-2011 Дефекты сварных соединений термопластов. Описание и оценка
- 13.ГОСТ Р 55142-2012 Испытания сварных соединений листов и труб из термопластов. Методы испытаний
- 14.Гуль В.Е., Акутин М.С. Основы переработки пластмасс: учебное пособие для ВУЗов. М.: Химия, 1985. 400с.
- 15.Гуль В.Е., Кулезнев В.Н. Структура и механические свойства полимеров. 3-е изд. М.: Высшая школа, 1979. 352с.

- 16.Зайцев К.И., Истаратов И.Ф., Лященко В.Ф. Сварка пластмассовых трубопроводов. М.: Недра, 1974. 72с.
- 17.Зайцев К.Н., Мацюк Л.Н. Сварка пластмасс. М.: Машиностроение, 1978. 224с.
- 18.Кимельблат В.И. Релаксационные характеристики расплавов полимеров и их связь со свойствами композиций: монография В.И. Кимельблат, И.В. Волков; Казань: КГТУ, 2006–187 с.
- 19.Комаров Г.В. Способы соединения деталей из пластических масс. М.: Химия, 1979. 288с.
- 20.Контроль качества сварки: учебное пособие для ВУЗов; под ред. В.Н. Волченко - М.: Машиностроение, 1975. 328с.
- 21.Кораб Г.Н., Шистопал А.Н., Комаров Г.Н. и др. Справочник-словарь по сварке и склеиванию пластмасс; под ред. Б.Е. Патона - Киев: Наукова Думка, 1988. 160с.
- 22.Ростовцев А.М. Контроль качества деталей из пластмасс. Л.: Химия, 1984. 112с.
- 23.Сварка, пайка, склейка и резка металлов и пластмасс; пер. с нем.; под ред. А. Ноймана, Е. Рихтера. М.: Металлургия, 1985. 480с.
- 24.Сварка полимерных материалов: Справочник// К.И. Зайцев, Л.Н. Мацюк, А.В. Богдашевский и др.; под общей редакцией К.И. Зайцева, Л.Н. Мацюк. М.: Машиностроение, 1988. 312с.
- 25.СНи П 3.05.04- 85 Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации
- 26.СН 478- 80 Инструкция по проектированию и монтажу сетей водоснабжения и канализации из пластмассовых труб
- 27.СН 550- 82 Инструкция по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб
- 28.СП 40- 102- 2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов

29.СП- 42- 103- 2003 Проектирование и строительство газопроводов из полиэтиленовых труб и реконструкция изношенных газопроводов

30.Тагер А.А. Физикохимия полимеров: учебное пособие для ВУЗов. М.: Химия, 1978. 432с.

31.Тюнин. Ю.Н., Шашкин О.В. Сварка пластмасс, пайка и склеивание материалов: учебное пособие// Ч. 1. Сварка пластмасс. Тольятти: ТГУ, 2007. 128 с.

32.Удовенко В.Е., Сафронова И.П., Гусева Н.Б. Полиэтиленовые трубопроводы- это просто. М.: ЗАО «Полимергаз», 2003. ББК 39. 7, У31, 240с.

33.Шестопал А.Н., Васильев Ю.С., Минеев Э.А и др. Справочник по сварке и склеиванию пластмасс. Киев: Техника, 1986. 192с.

34.Шрадер В. Обработка и сварка полуфабрикатов из пластмасс: В вопросах и ответах. Пер. с нем.М.: Машиностроение, 1980. 480с.

35.Accelerated Weathering Effects on Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) (PHBV) and PHBV/TiO<sub>2</sub> Nanocomposites, 2020, Antunes A., Popelka A., Aljarod O., Hassan M. K., Kasak P., Luyt A. S.

36.Continuous ultrasonic welding of thermoplastic composites: Enhancing the weld uniformity by changing the energy director, Jongbloed B., Teuwen J., Palardy G.

37.Experimental Study of the Weld Bead Zones of a High-Density Polyethylene Pipe (HDPE), Belaziz A., Mohamed M.

38.Friction stir welding of polypropylene sheet, Sahu, Santosh K., Mishra D., Mahto R.P.

39.<https://www.volzhanin.com/kak-proizvodit-svarku-polipropilenovyix-trub-vstyik/>

40.Laser Welding of Transmitting High-Performance Engineering Thermoplastics, 2020, Pereira A. B., Fernandes F. A. O., de Moraes A. B, Quintão J.

41.Mechanical Strength of Thermoplastic Polyamide Welded by Nd: YAG Laser, António B.P., Fábio A.O., Fernandes, Alfredo B. De Moraes, João Quintão

42.Rotary Friction Welding versus Fusion Butt Welding of Plastic Pipes - Feasibility and Energy Perspective, Hamade R.F., Andari T.R., Ammouri A.H., Jawahir I.S.

43.Thermal Welding by the Third Phase Between Polymers: A Review for Ultrasonic Weld Technology Developments, 2020, Qiu J., Zhang G., Sakai E., Liu W., Zang L.

44.Ultrasonic welding of all-polypropylene composites, Pan, Yiren, Zhu, Lin, Liu, Huaqiao

45.Ultrasonic Welding of Thermoplastic Composites, Villegas I.F.