

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.И. Оботуров, М.Н. Попова

СВАРКА ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Учебное пособие

*Рекомендовано Учебно-методическим объединением вузов РФ по образованию
в области строительства в качестве учебного пособия для студентов
высших учебных заведений, обучающихся по программе бакалавриата
по направлению 270800 «Строительство»
(09.07.2013 № 102-15/792)*

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014
© Оформление.
ООО «Ай Пи Эр Медиа», 2014

ISBN 978-5-7264-0817-0 (локальное)
ISBN 978-5-7264-0818-7 (сетевое)

Москва 2014

УДК 621.791.46/.48(075.8)
ББК 35.710я73
О-22

Р е ц е н з е н т ы :

доктор технических наук, профессор *А.Я. Туснин*,
зав. кафедрой МК ИСА МГСУ;
доктор химических наук *О.И. Тужиков*,
профессор кафедры технологии высокомолекулярных и волокнистых
материалов ВГТУ

Оботуров, В.И.

- О-22** Сварка трубопроводов из полимерных материалов [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.И. Оботуров, М.Н. Попова ; М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т. — Электрон, дан. и прогр. (4,5 Мбайт). — Москва : МГСУ, 2014. — Учебное электронное издание комбинированного распространения: 1 электрон, опт. диск (CD-ROM). — Систем. требования: Intel; Microsoft Windows (XP, Vista, Windows 7); дисковод CD-ROM, 512 Мб ОЗУ; разрешение экрана не ниже 1024×768; ПО Adobe Air, ПО IPRbooks Reader, мышь; ЭБС IPRbooks. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/> — Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-7264-0817-0 (локальное)

ISBN 978-5-7264-0818-7 (сетевое)

Даны основные сведения о полимерных материалах, характеристика труб, аппаратуры, деталей трубопроводов; описаны способы сварки, применяемое оборудование, методы испытаний, а также контроль качества сварных соединений.

Для студентов всех форм обучения направления «Строительство», а также специалистов в области сварки трубопроводов из полимерных материалов.

Учебное электронное издание

Минимальные системные требования: процессор стандартной архитектуры x86 с тактовой частотой от 1,6 ГГц и выше; операционная система Microsoft Windows XP, Vista или Windows 7; от 512 Мб оперативной памяти; от 1 Гб свободного пространства на жестком диске; разрешение экрана не ниже 1024×768; программа Adobe Air, ПО IPRbooks Reader.

© ФГБОУ ВПО «МГСУ», 2014

© Оформление.

ООО «Ай Пи Эр Медиа», 2014

Редактор *Ю.Б. Захарова*
Технический редактор *А.В. Кузнецова*
Корректор *О.А. Кудрявцева*
Компьютерная правка и верстка *С.С. Сизимовой*

Для создания электронного издания использовано:
Microsoft Word 2007, приложение pdf2swf из ПО Swftools, ПО IPRbooks Reader, разработанное на основе Adobe Air

Подписано к использованию 15.05.2014.
Уч.-изд. л. 5,4. Объем данных 4,5 Мб, 1 CD-ROM
Тираж 10 экз.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет»
Издательство МИСИ – МГСУ.
Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95,
e-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru

ООО «Ай Пи Эр Медиа»
Тел. 8-800-555-22-35, (8452) 24-77-97, вн. 208,
e-mail: izdat@iprmedia.ru, mail@iprbookshop.ru
www.iprbookshop.ru

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА	8
1.1. Общие сведения.....	8
1.2. Трубы и соединительные детали.....	15
1.3. Арматура, фланцы, прокладки, крепежные материалы.....	26
1.4. Классификация трубопроводов.....	29
2. СВАРКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	33
2.1. Сущность процесса сварки.....	33
2.2. Классификация способов сварки.....	38
2.3. Основные типы и конструктивные элементы сварных соединений.....	41
2.4. Подготовка труб и деталей к сварке.....	57
2.5. Сварка нагретым газом.....	60
2.6. Контактная сварка вращением.....	67
2.7. Контактная сварка встык.....	71
2.8. Сварка при помощи деталей с закладными нагревателями.....	74
2.9. Экструзионная сварка.....	80
2.10. Другие способы сварки полимерных материалов.....	88
2.10.1. Сварка пластмасс трением.....	88
2.10.2. Сварка излучением.....	91
2.10.3. Сварка током высокой частоты.....	94
3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ	96
3.1. Оборудование для сварки вращением.....	96
3.2. Оборудование для стыковой сварки.....	97
3.3. Аппараты для сварки при помощи деталей с закладными нагревателями.....	105
3.4. Оборудование для экструзионной сварки.....	110
3.5. Вспомогательные принадлежности.....	112

4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА	118
4.1. Квалификационные испытания сварщиков и специалистов	118
4.2. Контроль качества сварочных работ	120
4.2.1. Общие положения	120
4.2.2. Требования к контролю качества сварных соединений	126
4.2.3. Внешний осмотр	128
4.2.4. Пневматические или гидравлические испытания	135
4.2.5. Испытания на осевое растяжение	136
4.2.6. Ультразвуковой контроль	137
4.2.7. Испытание на сплющивание	139
4.2.8. Испытание на отрыв	140
4.2.9. Испытания на сдвиг	140
4.2.10. Испытания на отдир	141
4.2.11. Испытание на статический изгиб	142
4.2.12. Испытание при постоянном внутреннем давлении	142
4.2.13. Испытание на длительное растяжение	143
4.2.14. Испытание на стойкость к удару	143
4.3. Виды производственного контроля	144
 5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	 148
 6. ОХРАНА ТРУДА И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	 152
 Приложение. Лабораторная научно-исследовательская работа «Определение влияния параметров режима сварки на качество сварных соединений пластмассовых труб»	 158
 Список литературы	 166

ВВЕДЕНИЕ

Основным направлением технического прогресса в строительстве является дальнейшая индустриализация строительных и монтажных работ на основе применения новых конструкторских и проектных решений, внедрения более эффективных и прогрессивных видов материалов и изделий, совершенствования технологии и организации производства, а также повышения качества строительно-монтажных работ.

Снижение металлоемкости в промышленном строительстве возможно за счет наращивания объемов трубопроводов из полимерных материалов.

Изготовление пластмассовых конструкций и труб, как правило, менее трудоемко и энергоемко, чем из других материалов. Они с успехом заменяют трубы и конструкции из легированных сталей, драгоценных металлов, бетона и дерева, позволяя экономить промышленно важные материалы и стали, а в ряде случаев — исключить проблему защиты от коррозии, что в 10-15 раз продлевает срок их службы, по сравнению со стальными, в 8-10 раз уменьшает массу и не менее чем на 15...20 % снижает расходы на транспорт.

Благодаря высокой коррозионной стойкости пластмассовых трубопроводов значительно повышается срок их службы в агрессивных средах. Так, при транспортировке 10 % серной кислоты трубопровод из стали марки X18H10T выходит из строя через 1 год эксплуатации, трубопровод из полиэтилена — через 4 года, из винипласта — через 15 лет.

Кроме того, преимуществом трубопроводов из полимерных материалов перед металлическими является их большая пропускная способность, так как внутренняя поверхность большинства пластмассовых трубопроводов имеет меньшую шероховатость по сравнению со стальными. Например, при прочих равных условиях пропускная способность пластмассового трубопровода диаметром 90 мм такая же, как стального D_y 125 мм.

Пластмассовые трубы поддаются механической обработке, легко свариваются и склеиваются. Трудозатраты на изготовление и монтаж таких трубопроводов значительно ниже, чем на изготовление стальных.

Так, трудоемкость наиболее массовых операций — резки и сварки пластмассовых труб — в 2-3 раза ниже, чем стальных. Трудозатраты на изготовление и монтаж полиэтиленовых или пропиленовых трубопроводов в 3-4 раза ниже, чем на изготовление и монтаж трубопроводов из нержавеющей стали.

Основной недостаток пластмассовых трубопроводов — невысокая механическая прочность материалов, из которых изготавливаются трубы и детали трубопроводов, особенно при повышенных температурах. Кроме того, для монтажа пластмассовых трубопроводов требуется повышенный, по сравнению со стальными, расход опор и материалов на изготовление сплошных оснований.

В настоящее время пластмассовые трубопроводы широко применяются:

- в системах водоснабжения;
- для транспортировки агрессивных и абразивных сред;
- для газо- и нефтепроводов;
- для защиты электропроводок;
- в системах капельного орошения и дренажа;
- для подземного обогрева теплиц;
- для орошения сельскохозяйственных культур, обводнения пастбищ и т.д.

Широкая номенклатура выпускаемых пластмасс, разнообразие конструкций и труб способствовали разработке многочисленных способов сварки и соответствующей техники для обработки под сварку, для резки и непосредственно сварки. Как показывает отечественный и зарубежный опыт, экономическая эффективность применения пластмассовых трубопроводов проявляется лишь при условии обеспечения высокого качества работ на всех этапах технологического процесса, включая изготовление труб и деталей трубопроводов, проектирование, монтаж, а также подготовку рабочих кадров.

1. ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ СВОЙСТВА

1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Все пластмассы делятся на термопластичные и термореактивные.

К **термопластам** относятся: винипласт, полиэтилен, полипропилен, фторопласт, полиметилметакрилат, полиизобутил, полистирол, полиамид и полиуретан. Эти материалы можно перерабатывать в изделия методом литья, экструзии, пневматического формования, прессования и сварки. К **термореактивным** материалам относятся: фенопласты, фаолит, текстолит, древесные пластики, стеклопластики, асбовинил, графитопласт и композиции на основе эпоксидных смол.

Для изготовления труб и деталей трубопроводов применяются термопласты с различными физико-механическими свойствами (табл. 1.1).

На их основе создан ряд специализированных марок полимерных материалов. Для обеспечения у таких материалов необходимых свойств в них вводят различные добавки — пластификаторы, стабилизаторы, красители, наполнители, антистатик и другие вещества. В результате такой обработки материалы труб представляют собой сложные композиции. Так, пластификаторы вводят для улучшения технологических и эксплуатационных свойств; стабилизаторы — для повышения стойкости и долговечности полимеров при воздействии света, температур и других факторов; наполнители — для увеличения их прочности и улучшения диэлектрических свойств, уменьшения расхода полимерной смолы и т.д.

Основными видами термопластов, из которых изготавливают трубы и детали, являются:

- полиэтилен низкого давления (ПНД) и полиэтилен высокого давления (ПВД);
- полипропилен (ПП);
- непластифицированный поливинилхлорид (ПВХ).

Полиэтилен — продукт полимеризации этилена. В зависимости от метода полимеризации получают полиэтилен высокого, среднего и низкого давления. Они отличаются молекулярной массой, плотностью, степенью кристалличности и разветвленностью макромолекул.

Таблица 1.1

Характеристика полимерных материалов

Показатель	ПВХ	ПП	ПВД	ПНД	Фторопласт-4
Плотность, г/см ³	1,3...1,4	0,9...0,94	0,9...0,94	0,95...0,96	2,12...2,28
Разрушающее напряжение МПа, при: растяжении	50	25...40	10...15	20...30	14...34,5
сжатии	80...100	60	12	20...36	
изгибе	100...120	70...80	12...17	20...38	10,7...13,7
Относительное удлинение при разрыве, %	10...15	700	400...600	300...800	250...500
Удельная ударная вязкость, кДж/м ²	70...120	Не разрушается			
Модуль упругости, МПа, при: растяжении	—	800...1080	—	—	500
изгибе	—	670...1190	140...250	600...850	—
Твердость (по Бриннелю), НВ	30...160	40...70	14...25	45...59	29,4...39,2
Сцепление со сталью (адгезия), Н/м ²	25...40	—	10...15	10...15	—
Теплостойкость (по Мартенсу), °С	65...70	100...110	50...60	75	—
Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом*см	10 ¹⁴ ...10 ¹⁸	10 ¹⁵ ...10 ¹⁷	10 ¹⁶ ...10 ¹⁷	10 ¹⁶ ...10 ¹⁷	—
Предел текучести, МПа, при: растяжении	55	28...35	8...13	22...26	25
сжатии	56	—	14	30	—
Температура, °С плавления	—	160...170	105...108	125...135	33...27
текучести	180...200	175...180	115...120	160	—
разложения, св.	240	250	220	270	—
Коэффициент линейного расширения, К ⁻¹ ·10 ⁻⁴	0,5...1,5	1,1...1,2	2,2...5,5	1,7...2,0	0,8

Полиэтилен, полученный при высоком давлении (ПВД), называют также полиэтиленом низкой плотности (ПНП), а при среднем и низком давлениях — полиэтиленом высокой плотности (ПВП).

Полиэтилен представляет собой твердый продукт белого цвета. Горит медленно синим пламенем без копоти, состоит из кристаллической и аморфной фаз, соотношение которых, а также конфигурация макромолекул полимера зависят от способа его получения. От степени кристалличности полимера зависят его плотность, химическая стойкость и проницаемость для газов и растворителей, температура размягчения и начала течения, поверхностная твердость и модуль упругости. С ростом температуры степень кристалличности уменьшается, а удельный объем возрастает, чем и объясняется зависимость объемного коэффициента термического расширения от температуры.

Под действием кислорода воздуха, температуры, ультрафиолетовых лучей происходит старение полиэтилена, выражающееся в постепенном ухудшении его физических и механических свойств, изменении химического состава и структуры, потере эластичности и увеличении хрупкости.

Полиэтилен ПВД и ПНД выпускают различных марок, из которых непосредственно получают изделия или композиции с различными добавками для дальнейшей переработки.

Полипропилен (ПП) получают полимеризацией пропилена в присутствии металлоорганических катализаторов. Отличается более высокой, чем пропилен, температурой плавления, длительной химической и водостойкостью. Однако чувствителен к действию кислорода и других сильных окислителей. Выпускается в виде композиций со стабилизаторами, красителями, наполнителями и другими добавками.

Поливинилхлорид (ПВХ) является продуктом полимеризации винилхлорида, осуществляемой путем проведения суспензионной, блочной или эмульсионной полимеризации. Поливинилхлорид представляет собой белый или слегка желтоватый порошок. Изделия из него имеют высокую механическую прочность, легко поддаются обработке механическими способами, штамповке и склеиванию. ПВХ водостоек и химически стоек в агрессивных средах.

Для изготовления труб и деталей трубопроводов используют составы, в которые наряду с полимером входят пластификаторы, стабилизаторы, наполнители, красители, определенным образом влияющие на свойства изделия.

К недостаткам ПВХ можно отнести слабую сопротивляемость к удару, низкую теплостойкость, хрупкость при температуре ниже 0 °С, большой коэффициент линейного расширения.

Далее рассмотрим другие виды термопластов. **Фторопласты** — обобщенное техническое название всех полимеров фторопроизводных этиленового ряда. В отечественной практике для трубопроводного строительства применяют фторопласт-4 (политетрафторэтилен), трубы из которого выпускают в промышленном масштабе. Структурная симметрия и линейность построения молекул обуславливают высокую кристалличность фторопласта-4. Благодаря большой энергии взаимодействия соседних молекул между атомами фтора, полимер обладает высокой температурой плавления и исключительно высокой химической стойкостью. Изделия из него имеют чрезвычайно широкий температурный диапазон эксплуатации: от –100 °С до +220...250 °С. Фторопласт-4 негорюч, безвреден для здоровья, однако вследствие высокой вязкости практически не поддается переработке известными способами. Изделия получают холодным прессованием порошкообразного материала, спеканием этих блоков при температуре выше точки плавления с последующей механической обработкой.

Фторопласт-3 (политрифторхлорэтилен) отличается от фторопласта-4 тем, что в его структуре один из атомов фтора заменен атомом хлора, вследствие чего фторопласт-3 обладает повышенной текучестью. Полимер имеет такое же правильное линейное строение, как и фторопласт-4, также кристалличен, хотя и в меньшей степени. По химической стойкости он мало уступает фторопласту-4. Фторопласт-3 перерабатывают экструзией, литьем и другими известными способами, однако его температурный диапазон эксплуатации несколько уже: от –80 °С до +180 °С.

К числу перспективных в отечественной практике относят полимерные материалы, пригодные для создания трубопроводов горячего водоснабжения, водяного отопления и технологических трубопроводов, доступных по стоимости и обладающих достаточной теплостойкостью (например, сшитый полиэтилен, полибутен, хлорированный поливинилхлорид).

Сшитый полиэтилен — полиэтилен высокого или низкого давления, молекулярные цепи которого «сшиты» поперечными мостиками, в результате чего он имеет сетчатую структуру. Благодаря сшивке улучшаются длительная прочность, химическая и ударная стойкость, стойкость к растрескиванию и морозостойкость. К недостаткам сшитого

полиэтилена относится его плохая свариваемость, вследствие чего соединение изготовленных из него труб представляет значительные трудности.

Полибутен (ПБ) по физико-механическим свойствам сравним с полиэтиленом низкого давления. Особенностью его переработки является замедленное протекание процесса кристаллизации, которая при нормальной температуре длится несколько дней. При повышенной температуре процесс кристаллизации ускоряется, но это требует применения специального оборудования. Полибутен обладает хорошей свариваемостью, однако при монтаже следует иметь в виду его чувствительность к ударным воздействиям при надрезе.

Хлорированный поливинилхлорид (ХПВХ) обладает повышенной температурной формостойкостью по сравнению с ПВХ. Остальные свойства хлорированного поливинилхлорида близки к свойствам обычного ПВХ, за исключением повышенной чувствительности к ударным нагрузкам.

В последние годы проводятся работы по определению новых композиционных материалов для изготовления труб. Наиболее эффективно для армирования используют высокопрочные синтетические волокна, что позволяет создавать трубы на рабочее давление до 40 МПа. Проводятся также разработки полимеризационно наполненных и смесевых композиций для изготовления труб, использование которых в безнапорных системах обеспечивает существенную экономию полимерного сырья.

Способность пластмасс противостоять действию агрессивных сред различной концентрации и температуры определяет их коррозионную стойкость или, как принято называть ее для пластмасс, — химическую стойкость, являющуюся основным критерием при выборе материала труб.

Воздействие агрессивной среды на пластмассы сводится к трем основным процессам: диффузии, набуханию и химической реакции. Эти процессы могут протекать одновременно или в различных сочетаниях. В результате диффузии агрессивная среда проникает внутрь материала и вызывает, как правило, его набухание. Химически взаимодействуя с пластмассой, агрессивная среда вызывает ее растворение или растворение отдельных ее компонентов. Снижение химической стойкости пластмасс обычно сопровождается изменением цвета и ухудшением механических свойств материала. Набухание и растворение предшествуют разложению материала в зависимости от температуры и кон-

центрации среды, очаги разрушения проникают вглубь материала, а связанное с набуханием увеличение объема или уменьшение толщины стенки из-за растворения материала вызывает значительные напряжения, приводящие к разрушению трубы.

Существуют стандартные методики испытаний труб, базирующиеся в основном на изменении массы или объема ненагруженных образцов, погруженных в испытываемую химическую среду. Такие методики позволяют лишь качественно оценить химическую стойкость труб и соединительных деталей по ГОСТ 12020–72* (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Химическая стойкость полимерных материалов

Оценка стойкости	Условное обозначение	Изменение, %, не более	
		массы	прочности
Стойкие (весьма стойкие)	С	$\pm 3 \dots 5$	До 10
Относительно стойкие (слабо-стойкие, условностойкие)	О	До +15 или –10	Св. 10 до 15
Нестойкие	Н	Св. ± 10	Св. 15

Трубы ПВД и ПНД обладают высокой химической стойкостью во многих агрессивных средах. При температуре 120 °С они устойчивы к действию воды, рассолов, щелочей, а также соляной и фосфорной кислот. Однако трубы из полиэтилена не стойки в дымящей серной кислоте, концентрированной азотной кислоте, хромовой смеси и галогенах. Они устойчивы к воздействию спиртов, формальдегидов и сложных эфиров, но недостаточно стойки в хлорированных и ароматических углеводородах. Паро- и газопроницаемость этих труб незначительны.

Трубы из полипропилена (ПП) при нормальной температуре обладают высокой химической стойкостью к действию сильных щелочей, минеральных кислот, соляных растворов, минеральных масел, но не устойчивы к воздействию азотной и серной кислот, сложных эфиров, кетонов и альдегидов, простых эфиров и ароматических углеводородов.

Они обладают низкой паро- и газопроницаемостью. По сравнению с трубами из полиэтилена имеют следующие преимущества: полное отсутствие растрескивания под воздействием поверхностно-активных веществ, большая устойчивость к воздействию химических веществ при повышенных температурах.

Трубы из поливинилхлорида (ПВХ) при температуре до +40 °С устойчивы к воздействию влажных газов, за исключением хлора. При повышении температуры до 60 °С трубы из ПВХ могут рассматриваться только как относительно стойкие по отношению к названным видам газов.

Трубы из фторосодержащих полимеров предназначены для работы в наиболее агрессивных средах при высокой температуре, так как обладают высокой химической стойкостью, превышающей стойкость золота, платины и фарфора. Наиболее распространенным материалом для изготовления трубопроводов является фторопласт-4. На фторопласт-4 не действуют кислоты и щелочи любых концентраций, растворители и окислители. На него воздействуют только расплавленные щелочные металлы и их комплексные соединения с аммиаком, а также трехфтористый хлор и элементарный фтор при повышенной температуре. При определении пригодности труб из данного материала необходимо учитывать следующие факторы:

- состав транспортируемой и внешней химических сред и их концентрацию;
- вид пластмасс, из которых изготовлены трубы и соединительные детали;
- внутреннее давление и внешние нагрузки;
- температуру транспортируемой и окружающей сред;
- длительность и периодичность контакта со средой;
- методы соединения труб и фасонных деталей;
- размеры труб и соединительных деталей.

Окончательное заключение о пригодности и долговечности труб в интересующей среде может быть составлено на основе испытаний, проводимых в условиях, близких к натурным.

1.2. ТРУБЫ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ

Параметры, характеризующие трубы и детали трубопроводов, а также арматуру — это условный проход и давление (условное, рабочее и пробное).

Условным проходом называют номинальный внутренний диаметр трубопровода. Он обозначается D_y и числовым значением (например, D_y150). Условный проход — это расчетный внутренний диаметр, округленный до ближайшего значения, установленного СТ СЭВ 254–76. В связи с тем, что трубы изготавливают с постоянным наружным диаметром (D_n), а толщина стенки для одного и того же диаметра в зависимости от типа трубы (обусловленного давлением, на которое она рассчитана) имеет различную величину, на практике внутренний диаметр трубы, как правило, отличается от условного. Для технологических трубопроводов из полимерных материалов наиболее распространены следующие условные проходы, мм: 15, 20, 25, 32, 40, 50, 65, 80, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500 и 600.

Условным давлением P_y называется наибольшее избыточное давление при температуре 20 °С, при котором допустима длительная работа арматуры и деталей трубопровода, имеющих заданные размеры, обоснованные расчетом на прочность. Величины условных давлений регламентированы ГОСТ 356–80.

Рабочим давлением P_p называется наибольшее избыточное давление, при котором обеспечивается заданный режим эксплуатации арматуры и деталей трубопроводов.

Пробным давлением $P_{пр}$ называется избыточное давление, при котором должно проводиться гидравлическое испытание на прочность и плотность водой при различной температуре в диапазоне от 5 до 70 °С.

Кроме того, трубопроводы из полимерных материалов можно условно классифицировать по следующим наиболее характерным признакам:

1) по материалу:

- полиэтиленовые (ПНД и ПВД);
- полипропиленовые (ПП);
- поливинилхлоридные (ПВХ);
- фторопластовые;

2) по форме:

- концов трубы — раструбные, гладкие;
- стенки трубы — гладкостенные, гофрированные;
- продольной оси — с прямолинейной осью (доставляемые обрезами) и с криволинейной осью, поставляемые в бухтах или на барабане;

- поперечного сечения — круглые, овальные;

3) по значению внутреннего гидравлического давления:

- безнапорные;
- напорные. Напорные в свою очередь делятся на Л — легкие; СЛ — среднелегкие; С — средние; Т — тяжелые; ОТ — особо тяжелые, которые характеризуются относительно малым отношением наружного диаметра трубы к толщине стенки $D_{н/δ}$, мм (табл. 1.3);

Таблица 1.3

Типы пластмассовых труб

Рабочее давление, МПа, при 20 °С	Тип труб	Обозначение типа труб
0,25	Легкий	Л
0,4	Среднелегкий	СЛ
0,6	Средний	С
1	Тяжелый	Т
1,6	Особо тяжелый	ОТ

4) по конструкции:

- армированные;
- неармированные;

5) по способу производства:

- изготовленные методом непрерывной шнековой экструзии;
- изготовленные методом непрерывного свертывания из ленты и сварки листовой заготовки.

Стандарты, нормал и технические условия устанавливают единые параметры (диаметр, толщину стенок, строительные размеры) и качество изделий, а также способы их измерения, методы контроля и испытаний, правила маркировки, упаковки и хранения. Краткая характеристика труб из полиэтилена высокого и низкого давления приведена в табл. 1.4.

Таблица 1.4

Полиэтиленовые трубы

D_y , мм	D_w , мм	Толщина стенки, мм				Масса 1 м трубы, кг			
		Тип трубы							
		Л	СЛ	С	Т	Л	СЛ	С	Т
10	16	—	—	2	2,7	—	—	0,9	0,11
15	20	—	—	2,2	3,4	—	—	0,13	0,18
20	25	—	2	2,7	4,2	—	0,15	0,19	0,27
25	32	2	2,4	3,5	5,4	0,19	0,23	0,31	0,44
32	40	2	3	4,3	6,7	0,24	0,36	0,48	0,68
40	50	2,4	3,7	5,4	8,4	0,36	0,53	0,74	1,07
50	63	3	4,7	6,8	10,5	0,56	0,85	1,17	1,68
65	75	3,6	5,6	8,1	12,5	0,81	1,2	1,67	2,38
80	90	4,3	6,7	9,7	15	1,15	1,72	2,38	3,4
100	110	5,3	8,2	11,8	18,4	1,7	2,54	3,54	5,05
125	125	6	9,3	13,4	20,9	2,2	3,31	4,56	6,71
125	140	6,7	10,4	—	—	2,76	4,14	—	—
150	160	7,7	11,9	—	—	3,61	5,39	—	—

Продолжение табл. 1.4

$D_{\text{г}}, \text{мм}$	$D_{\text{в}}, \text{мм}$	Толщина стенки, мм					Масса 1 м трубы, кг				
		Тип трубы									
		Л	СЛ	С	Т		Л	СЛ	С	Т	
Из полиэтилена низкого давления											
10	16	—	—	—	2	—	—	—	—	0,09	
15	20	—	—	—	2	—	—	—	—	0,12	
20	25	—	—	2	2,3	—	—	—	0,15	0,17	
25	32	—	—	2	2,9	—	—	—	0,2	0,28	
32	40	—	2	3,3	3,4	—	—	0,25	0,29	0,43	
40	50	—	2	2,8	4,5	—	—	0,32	0,44	0,67	
50	63	2	2,5	3,6	5,7	0,4	0,5	0,68	0,69	1,06	
65	75	2	2,9	4,3	6,8	0,48	0,5	0,98	0,98	1,49	
80	90	2,2	3,5	5,1	8,2	0,64	0,95	0,98	1,39	2,13	
100	110	2,7	4,3	6,2	10	0,95	1,47	1,47	2,09	3,16	
Масса 1 м трубы, кг											
$D_{\text{г}}, \text{мм}$	$D_{\text{в}}, \text{мм}$	Толщина стенки, мм					Тип трубы				
		Л	СЛ	С	Т		Л	СЛ	С	Т	
100	125	3,1	4,8	7,1	11,4	1,24	1,89	2,69	4,1		
125	140	3,5	5,4	7,9	12,7	1,55	2,3	3,4	5,14		
150	160	3,9	6,2	9,1	14,6	1,96	3,06	4,37	6,7		
150	180	4,4	7	10,2	16,4	2,5	3,85	5,5	8,46		
200	225	5,5	8,7	12,8	20,5	3,88	4,98	8,59	13,2		
(225)	250	6,1	9,7	14,2	22,8	4,19	7,4	10,6	16,3		
250	280	6,9	10,8	15,9	25,5	6,01	9,22	13,3	20,4		

Окончание табл. 1.4

D_y , мм	D_n , мм	Толщина стенки, мм				Масса 1 м трубы, кг				
		Тип трубы								
		Л	СЛ	С	Т	Л	СЛ	С	Т	
Из полиэтилена низкого давления										
300	315	7,7	12,2	17,9	28,7	7,04	11,7	16,8	25,1	
350	355	8,7	13,7	20,1	32,3	9,59	14,8	21,3	32,8	
350	400	9,8	15,4	22,7	36,4	12,1	18,7	27	41,8	
400	450	11	17,3	25,5	41	15,3	23,8	34,1	52,6	
(450)	500	12,2	19,3	28,3	45	18,8	29,1	42,1	64,8	
500	560	13,7	21,6	31,7	—	23,7	36,7	52,7	—	
600	630	15,4	24,3	35,7	—	30	46,5	66,8	—	
700	710	17,4	27,4	40,2	—	38,1	59	84,7	—	
700	800	19,6	30,8	45,3	—	48,3	74,6	108	—	
800	900	22	34,7	—	—	61	94,6	—	—	
900	1000	24,4	38,5	—	—	75,2	117	—	—	
1000	1200	29,3	46,2	—	—	108	168	—	—	

Примечания:

1. В скобках указаны редко применяемые условные проходы.

2. Трубы из ПНД по ТУ 6-19-214-83 выпускаются с D_n 315 и 400 мм типа Т, с D_n 500 мм — типов С и Т, с D_n 630 — типов С; с D_n 710 мм — 800 мм — типов СЛ и С; с D_n 900 — 1200 мм — типов Л и СЛ.

Напорные трубы из полиэтилена (ПВД и ПНД) выпускают по ГОСТ 18599–2001. Трубы изготавливают четырех типов: легкие, среднелегкие, средние и тяжелые. Они предназначены для транспортировки воды, воздуха и других жидких и газообразных сред, к которым полиэтилен химически стоек. Трубы изготавливают номинальной длины 6, 8, 10 и 12 м. Допускается изготовление труб длиной 5,5 и 11,5 м, а допускаемое отклонение длины от номинальной не должно превышать 50 мм.

Условное обозначение трубы состоит из наименования материала, диаметра и типа трубы, указания ее назначения. Так, для хозяйственно-питьевых систем трубы обозначают словом «питьевая», а в остальных случаях — «техническая». Например, труба, изготовленная из ПНД диаметром 63 мм, среднелегкого типа для систем хозяйственно-питьевого назначения обозначается следующим образом: труба ПНД 63 СЛ питьевая, ГОСТ 18599–2001. Канализационные трубы из ПНД по ГОСТ 22689.2–89, ГОСТ 22689.3–89 применяются в системах внутренней канализации зданий.

Маркировка на поверхности трубы должна быть нанесена нагретым металлическим штампом с интервалом не более 4 м и включать товарный знак предприятия.

Гладкие концы труб и раструбы из ПНД изготавливают 4 типов:

- для соединения изделий с помощью резинового уплотнительного кольца;
- с помощью раструбной сварки нагретым инструментом;
- для соединения изделий с помощью накидной гайки с резиновой прокладкой;
- для соединения изделий с помощью муфты с закладкой электроспиралью или стыковой сваркой нагретым инструментом.

Труба с раструбом и гладким концом, изготовленная из ПНД, D_y 50 мм, длиной 1500 мм для соединения по типу II обозначается: труба ТКР-ПНД-50-II-1500 ГОСТ 22689.3–89.

Широкое распространение полиэтиленовые трубы получили благодаря технологичности производства фасонных деталей, так как наличие литьевых композиций позволило производить изготовление деталей трубопроводов способом литья под давлением.

Литые детали трубопроводов из полиэтилена высокого давления (табл. 1.5) изготавливаются в заводских условиях на специальных литьевых машинах.

Таблица 1.5

Угольники, тройники, муфты и втулки литые из полиэтилена высокого давления

d, мм	Тип детали	Размеры, мм							Масса, кг			
		D	D ₁	L	L ₁	L ₂	l	δ	угольник	тройник	муфта	втулка
16	C	22	—	20	25	—	11	—	0,007	0,009	0,005	—
	T	23	—	23	31	—	14	—	0,01	0,01	0,006	—
20	C	27	—	24	27	—	12	—	0,012	0,015	0,007	—
	T	29	—	27	35	—	16	—	0,02	0,03	0,01	—
25	C	34	50	28	31	19	14	6	0,022	0,028	0,012	0,013
	T	36	58	32	40	21,5	18,5	15	0,03	0,04	0,02	0,03
32	C	43	60	34	35	21	16	7	0,04	0,052	0,02	0,02
	T	46	68	39	47	25	22	15	0,06	0,07	0,04	0,05
40	C	54	78	40	39	23	18	8	0,075	0,087	0,035	0,027
	T	57	79	47	55	29	26	15	0,12	0,14	0,07	0,07
50	C	67	88	47	44	25	20	10	0,14	0,165	0,065	0,04
	T	72	89	57	65	34	31	15	0,23	0,26	0,13	0,1
63	C	84	102	56	48	27	22	12	0,24	0,29	0,105	0,052
	T	90	104	70	78	40,5	37,5	15	0,43	0,47	0,23	0,16
75	CЛ	92	110	64	53	30	24	10	0,28	0,35	0,11	0,073
	C	96	120	83,5	90	46,5	43,5	15	0,44	0,49	0,23	0,18
90	CЛ	110	128	75	61	34	28	12	0,46	0,55	0,19	0,14
	C	115	138	99	105	54	51	18	0,75	0,83	0,39	0,24
110	CЛ	134	150	89	70	38	32	14	0,8	0,94	0,3	0,2
	C	141	158	121	125	64	61	18	1,39	1,55	0,7	0,39
140	Л	158	165	108	78	43	36	16	0,87	1,3	0,33	0,32

Таблица 1.6

Угольники, тройники, муфты и втулки литые из полиэтилена низкого давления

D, мм	Тип детали	R, мм	L, мм		D ₁ , мм	D ₂ , мм	h, мм	Масса, кг		
								угольник	тройник	втулка
63	C							0,08	0,21	0,15
	T	63	120	50	102	73	12	0,11	0,25	0,16
75	C							—	—	—
	T	75	150	50	122	88	14	0,24	0,525	0,235
110	C									
	T	110	225	80	158	122	20	0,43 0,59	1,16 1,4	0,45 0,5
160	C									
	T	160	325	80	212	172	28	1,22 1,77	3,16 3,89	0,79 0,9
225	C									
	T	225	478	100	268	233	40	3,45 4,83	7,8 10,3	1,31 1,88
315	C									
	T	—	—	100	370	322	50	— —	— —	3,15 4,04
400	C									
	T	—	—	100	482	425	50	— —	— —	5,56 6,93
500	C	—	—	100	585	526	50	—	—	7,9

Примечания: 1. Угольники и тройники всех диаметров, а также втулки с D = 63...110 мм изготавливают литым, втулки с D = 160...500 мм — прессованием, с D = 630...1200 мм — намоткой. 2. По Ту 6—19—213—83 изготавливают также угольники под углом 45° и втулки с D до 1200 мм.

Выпускают литые детали трубопроводов из ПВД следующих типов: Т — для свайки с трубами типов Т, С, СЛ; С — для сварки с трубами типов СЛ и Л; Л — для сварки с трубами типа Л.

Особенность этих деталей — наличие раструбов для соединения с трубами. Литые, а также прессованные детали трубопроводов из полиэтилена низкого давления выпускают для сварки с трубами встык типов Т и С (табл. 1.6).

При отсутствии литых и прессованных деталей их изготавливают гнутьем, сваркой, формованием бурта перехода. Эти детали соединяют с трубами, втулками под фланцы и переходами сваркой встык.

Напорные трубы из непластифицированного поливинилхлорида выпускают четырех типов: СЛ, С, Т, ОТ (табл. 1.7). Они предназначены для трубопроводов, транспортирующих воду (в том числе для хозяйственно-питьевого водоснабжения), а также другие жидкие и газообразные вещества, к которым ПВХ химически стоек.

Таблица 1.7

Трубы из поливинилхлорида

D _н , мм	Толщина стенки, мм				Масса 1 м трубы, кг			
	Тип трубы							
	СЛ	С	Т	ОТ	СЛ	С	Т	ОТ
10	—	—	—	1	—	—	—	0,045
12	—	—	—	1	—	—	—	0,055
16	—	—	—	1,2	—	—	—	0,09
20	—	—	—	1,5	—	—	—	0,137
25	—	—	1,5	1,9	—	—	0,174	0,212
32	—	—	1,8	2,4	—	—	0,264	0,342
40	—	1,8	1,9	3	—	0,334	0,35	0,525
50	—	1,8	2,4	3,7	—	0,422	0,552	0,809
63	—	1,9	3	4,7	—	0,562	0,854	1,29
75	1,8	2,2	3,6	5,6	0,642	0,782	1,22	1,82
90	1,8	2,7	4,3	6,7	0,774	1,13	1,5	2,61
110	2,2	3,2	5,3	8,2	1,16	1,64	2,61	3,9
125	2,5	3,7	6	9,3	1,48	2,13	3,34	5,01
140	2,8	4,1	6,7	10,4	1,84	2,65	4,18	6,27
160	3,2	4,7	7,7	11,9	2,41	3,44	5,47	8,17
180	3,6	5,3	8,6	13,4	3,02	4,37	6,88	10,4
200	4	5,9	9,6	14,9	3,7	5,37	8,51	12,8
225	4,5	6,6	10,8	16,7	4,7	6,76	10,8	16,1
250	4,9	7,3	11,9	18,6	5,65	8,31	13,2	19,9
280	5,5	8,2	13,4	20,8	7,11	10,4	16,6	24,9
315	6,2	9,2	15	23,4	9,02	13,2	20,9	31,5

Детали трубопроводов из ПВХ изготавливают литьем под давлением в заводских условиях, а также гнутьем, сваркой и склейкой труб в монтажных условиях.

Литые детали выпускают диаметром от 16 до 160 мм, а также изготавливают методом литья под давлением тройники и переходы с раструбом для соединения с помощью колец.

Для изготовления и монтажа труб из ПВХ наиболее широко применимы детали, изготавливаемые из труб в трубозаготовительных мастерских монтажных организаций.

Размеры этих деталей не нормализованы. Они определяются радиусом гнутья и размерами захватных устройств станков и приспособлений.

По согласованию с заказчиком трубы поставляются со следующими конструктивными исполнениями концов:

- без раструбов;
- с раструбами для клеевого соединения (К);
- с раструбами для соединения с помощью резиновых уплотнительных колец.

Пример условного обозначения трубы из ПВХ без раструба диаметром 110 мм среднего типа, разрешенной для хозяйственно-питьевого водоснабжения: труба ПВХ 110 СЛ питьевая.

Трубы полипропиленовые напорные предназначены для транспортирования жидких и газообразных сред, к которым ПП химически стойек, а также для жидких пищевых продуктов. Их выпускают по ГОСТ 50838–95 легкого, среднего и тяжелого типов (табл. 1.8).

Трубы из фторопласта-4 применяются для транспортировки большинства агрессивных продуктов (за исключением расплавленных щелочных металлов, трехфтористого хлора и элементарного фтора) (табл. 1.9).

Трубы из фторопласта поставляются неотбортованными, а в броне — с отбортовкой на присоединительную поверхность фланца.

Длина неотбортованных отрезков поставляемых труб составляет 0,5...3 м.

Таблица 1.8

Трубы из полипропилена

$D_{\text{н}}$, мм	Толщина стенки, мм			Масса 1 м трубы, кг		
	Тип трубы					
	Л	С	Т	Л	С	Т
32	—	—	2,5	—	—	0,21
40	—	—	3,1	—	—	0,33
50	—	2,4	3,9	—	0,33	0,5
63	—	3	4,9	—	0,54	0,8
75	—	3,6	5,8	—	0,75	1,15
90	—	4,3	7	—	1,05	1,64
110	2,3	5,3	8,5	0,68	1,64	2,46
125	2,6	6	9,7	0,91	2,04	3,17
140	2,9	6,7	10,8	1,14	2,55	3,99
160	3,3	7,7	12,3	1,48	2,31	5,19
180	3,7	8,6	13,9	1,86	4,21	6,58
200	4,1	9,6	15,4	2,29	5,17	8,12
225	4,6	10,8	—	2,9	6,55	—
250	5,1	11,9	—	3,57	8,1	—
280	5,8	13,4	—	4,47	10,14	—
315	6,5	15	—	5,64	12,86	—

Таблица 1.9

Характеристика труб из фторопласта

Диаметр внутренний $D_{\text{вн}}$, мм	Диаметр наружный $D_{\text{н}}$, мм	Толщина стенки, δ , мм	Масса 1 м трубы, кг
25	32	2,5	0,53
40	50	3	1,01
50	58	4	1,56
		5	1,61
	64	4	1,75
65	68	4	1,82
	79	5	2,67
80	87	5	3
		6	3,52
	95	6	3,8
100	115	6	4,7
		7	5,43

Диаметр внутрен- ний D_v , мм	Диаметр наруж- ный D_n , мм	Толщина стенки, δ , мм	Масса 1 м трубы, кг
125	138	6	5,6
		7	6,52
150	170	10	11,7
(175)	187	6	7,72
		7	9,02
200	220	10	15,2
		15	22,3
(225)	236	6	10,4
		8	13,8
250	290	6	12,4
		8	16,3
300	325	12,5	29
400	430	15	43,3

Примечание. В скобках — редко применяемые трубы.

1.3. АРМАТУРА, ФЛАНЦЫ, ПРОКЛАДКИ, КРЕПЕЖНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Трубопроводная арматура устанавливается на трубопроводах и обеспечивает управление потоком рабочей среды путем изменения проходного сечения для подачи, отключения, распределения, регулирования, смешения и сброса транспортируемых продуктов.

Трубопроводная арматура классифицируется по:

- 1) областям и условиям применения (общетехническая и специальная);
- 2) целевому назначению (запорная, регулирующая, распределительно-смесительная, предохранительная, фазораспределительная, обратная и др.);
- 3) принципу действия (автономная и управляемая);
- 4) конструкции присоединительных патрубков (фланцевая, муфтовая, цапковая, приварная);

5) способам уплотнения подвижных элементов (сальниковая, сальфонная, мембранная);

6) конструкции запорного или регулирующего органа (задвижки, клапаны, краны и затворы);

7) условному давлению:

- I — до 0,1 Па;
- II — св. 0,1 Па до 0,1 МПа;
- II — до 1,6 МПа;
- IV — св. 1,6 МПа до 10 МПа;
- V — св. 10 МПа до 100 МПа;
- VII — св. 100 МПа;

8) диаметру условного прохода:

- малый — до 40 мм;
- средний — от 50 до 250 мм;
- большой — св. 250 мм.

При выполнении разъемных соединений технологических трубопроводов из неметаллических материалов применяются свободные накидные стальные фланцы, а для трубопроводов из винипласта, кроме того, также и винипластовые.

Приварные фланцы на неметаллических трубопроводах не получили широкого распространения из-за невысокой прочности неметаллических фланцев и сложности их приварки к трубам в условиях монтажной площадки.

Преимущество соединений со свободно вращающимися фланцами в том, что они обеспечивают необходимую затяжку болтов и удобны в монтаже.

Плотность разъемных соединений достигается при помощи плоских прокладок, устанавливаемых между уплотнительными поверхностями входных и выходных фланцев арматуры, машин, аппаратов, приборов, резервуаров и поверхностями соединительных деталей — втулками под фланцы, буртовыми втулками или отбортовками.

Прокладки, применяемые для уплотнения разъемных соединений, должны быть прочными, чтобы воспринимать внутреннее давление в трубопроводе и усилие сжатия соединения. Прокладка должна быть

устойчивой к разрушающему действию транспортируемых по трубам продуктов при соответствующих температурах и в то же время достаточно пластичной, чтобы обеспечить надежное уплотнение соединений.

В разъемных соединениях пластмассовых трубопроводов применяют плоские прокладки, наружный диаметр которых равен наружному диаметру трубы. Это делается для того, чтобы в процессе деформации прокладка не уменьшала внутренний диаметр трубопровода в месте соединения.

Для изготовления прокладок применяют паронит, картон (прокладочный и асбестовый), резину, фторопласт-4 и другие пластмассы.

Трубопроводы из термопластов крепят в проектное положение с помощью специальных опор и подвесок. Учитывая, что пластмассовые трубы очень чувствительны к надрезу, который резко снижает их прочность, детали креплений должны иметь гладкую поверхность без заусенцев, острых кромок.

Несущая способность трубопроводов из термопластичных материалов еще больше снижается с повышением температуры. Поэтому во избежание значительных деформаций трубопроводы из полиэтилена и винилпласта при температуре свыше 30 °С, а из пропилена — при температуре свыше 65 °С, укладывают на сплошное основание. Также без брони при любой температуре транспортируемого продукта монтируют трубопроводы из фторопласта-4. Сплошное основание изготавливают из уголка или швеллера с настилом (или без настила) из негорючего материала.

Опоры и подвески изготавливают из металла или пластмассы в виде хомутов и скоб. Опоры и подвески служат для установки горизонтальных и вертикальных линий пластмассовых трубопроводов, а сплошные основания — для поддержания трубопроводов на всем его протяжении как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях.

По назначению и устройству опоры подразделяют на подвижные, не препятствующие перемещению трубопроводов при его температурных деформациях, и неподвижные — жестко удерживающие трубу.

1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

Пластмассовые трубопроводы, как и трубопроводы из других материалов, *классифицируются по ряду признаков*:

1) по размерам наружного диаметра труб условно различают трубопроводы малого (до 50 мм включительно), среднего (63...160 мм) и большого диаметра (св. 200 мм);

2) по рабочим давлениям трубопроводы классифицируют на работающие под разряжением, безнапорные и напорные;

3) различают наружные трубопроводы, прокладываемые вне здания (цеха) и внутренние, прокладываемые в помещениях. При этом наружные трубопроводы по виду прокладки подразделяют на наземные, надземные и подземные. Подземные трубопроводы — на бесканальную прокладку, прокладку в каналах и туннелях (проходных и непроходных). Внутренние трубопроводы разделяют на открытые и скрытые;

4) по способам соединения трубопроводы бывают со сварными, фланцевыми, раструбными и другими соединениями;

5) по допускаемому радиусу изгиба пластмассовые трубопроводы можно разделить на гибкие (из ПВД, ПНД и ПП с допускаемым радиусом изгиба 50...100 наружных диаметров трубы) и жесткие (из ПВХ с допускаемым радиусом изгиба не менее 300 наружных диаметров трубы);

6) в зависимости от области применения пластмассовые трубопроводы подразделяются на:

- наружные сети водоснабжения, канализации и газоснабжения (распределительные газопроводы);
- внутренние системы водопровода, канализации, горячего водоснабжения, напольно-потолочного отопления, электроснабжения (защита электропроводок);
- наружные внешнеплощадочные и внутриплощадочные (межцеховые) и внутренние (внутрицеховые) технологические трубопроводы;
- закрытые оросительные системы, системы обводнения пастбищ, осушение закрытым дренажем, внутрипочвенного полива, подземного обогрева грунта теплиц;
- нефтепроводы, трубопроводы заводнения нефтяных пластов и сброса пластовых вод;
- обсадочные трубопроводы при бурении скважин на воду;

- трубопроводы сжатого воздуха, пневмоавтоматики, пневмотранспорта, воздуховоды;

- кабели связи, каналообразователи и т. п.

Кроме того, системы водопровода разделяют на хозяйственно-питьевые, противопожарные и производственные. В отдельных случаях эти системы могут быть объединенными. Системы канализации разделяют на бытовые (хозяйственно-фекальные), производственные, объединенные (для удаления бытовых и производственных сточных вод) и водостоки.

Выбор материала и диаметра трубопровода в зависимости от назначения производят в соответствии с данными табл. 1.10.

Таблица 1.10

Диаметры трубопроводов из полимерных материалов в зависимости от их назначения и материала

Материал труб				Назначение трубопроводов
ПВД	ПНД	ПВХ		
		на клею	на кольцах	
50, 90, 110	50, 110	—	50, 110	Внутренние системы хозяйственно – фекальной канализации
50...90	110...315	—	90...200	Внутренние водостоки
—	63...315	—	63...315	Внутренние системы производственной канализации
12...50	63...160	16...160	—	Внутренние системы водопровода
—	63...500	50...160	—	Технологические трубопроводы
20...50	63...315	—	63...315	Наружные сети водоснабжения
—	63...315	—	63...315	Наружные сети бытовой канализации
—	63...225	—	—	Наружные сети газоснабжения
—	110...1200	—	110...315	Наружные сети производственной канализации
—	63...400	—	63...315	Закрытые оросительные системы
—	225...400	225...315	—	Закрытые оросительные системы
—	225...400	225...315	—	Крепление скважин при бурении на воду
40...160	63...315	—	—	Системы обводнения пастбищ
—	50...280	—	—	Нефтепроводы

Наружные сети водоснабжения по надежности подачи воды подразделяют на три категории.

I категория надежности — предприятия металлургической, нефтеперерабатывающей, нефтехимической и химической промышленности, электростанции, хозяйственно-бытовые водопроводы населенных пунктов с числом жителей более 50 тыс. чел.

II категория надежности — предприятия угольной, горно-рудной, нефтедобывающей, машиностроительной и других видов промышленности, системы орошения сельскохозяйственных земель, хозяйственно-питьевые водопроводы населенных пунктов с числом жителей до 50 тыс. чел.

III категория надежности — хозяйственно-питьевые водопроводы населенных мест с числом жителей до 50 тыс. чел., допускающих перерыв в подаче воды до 1 сут.

В зависимости от давления газа системы газоснабжения разделяют на следующие категории давления: низкое — не более 0,005 МПа; среднее — 0,005...0,3 МПа; высокое — 0,3...0,6 МПа.

В основу классификации технологических трубопроводов из полимерных материалов положен принцип степени опасности, которая может создаваться при возможном их разрушении.

Степень опасности определяется физико-химическими свойствами транспортируемой среды: токсичностью, пожароопасностью и находящейся в прямой зависимости от степени агрессивности вещества химической стойкостью материалов труб, а также рабочими параметрами среды — давлением и температурой.

В зависимости от свойств транспортируемой среды трубопроводы делятся на три группы — А, Б и В.

В зависимости от параметров и химической стойкости материала трубы делятся на пять категорий (табл. 1.11).

Группа и категория трубопровода устанавливается по параметру, требующему отнесения его к более ответственной группе и категории. Для трубопроводов группы В допускается повышать категорию, если по ним транспортируются вещества, перерывы в подаче которых могут привести к аварийным ситуациям или остановке основного технологического процесса на предприятии.

Таблица 1.11

Группы и категории полимерных трубопроводов

Группа	Транспортируемое вещество	Категория трубопроводов
А	Вредные, к которым материал труб химически стоек: класс опасности 2 (серная кислота, соляная кислота, щелочи); класс опасности 3	I
		II
Б	Легковоспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ), горючие газы (ГГ), горючие вещества (ГВ), горючие жидкости (ГЖ), к которым материал труб химически стоек	III
В	Трудногорючие (ТГ) и негорючие (НГ) вещества, к которым материал труб химически относительно стоек То же, химически стоек	IV
		V

2. СВАРКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА СВАРКИ

Соединение между собой термопластичных полимерных материалов при сборке из них конструкций может осуществляться механическим путем с помощью болтов, заклепок и других крепежных элементов, склеиванием с использованием различных клеевых составов, а также с помощью сварки.

Из всех перечисленных методов только при сварке нет необходимости введения в зону соединения инородных материалов, в связи с чем в этой зоне можно получить связи и надмолекулярные образования, характерные для исходного материала, а значит максимально приблизить соединение по газопроницаемости, диэлектрическим характеристикам, механическим и другим свойствам к исходному материалу. Поэтому в тех случаях, когда к соединениям в конструкциях предъявляются высокие требования в отношении прочности, герметичности и пр., сборку конструкций предпочтительно осуществлять с помощью сварки. Процесс сварки термопластов состоит в образовании соединений за счет контакта активированных нагревом соединяемых поверхностей. Последовательность операций может быть различной:

- 1) свариваемые материалы вначале приводят в плотный контакт, а затем происходит активация соединяемых поверхностей;
- 2) соединяемые поверхности вначале подвергают активации, а затем обеспечивают их контакт;
- 3) контактирование и активацию соединяемых поверхностей осуществляют одновременно.

Введение энергии, необходимой для активации соединяемых поверхностей, и приложение давления, требуемого для достижения между ними контакта, возможно с помощью одних и тех же либо различных инструментов.

При сварке термопластов, как и при сварке металлов, в сварочной зоне протекают следующие процессы:

- преобразование энергии, обеспечивающей активацию свариваемых поверхностей;
- взаимодействие активированных свариваемых поверхностей при их контакте;

- формирование структуры материала в зоне контакта.

Активация свариваемых поверхностей может происходить в результате контакта их с теплоносителями — нагретыми инструментами, газами либо присадочными материалами, а также за счет поглощения и преобразования энергии высокочастотных электрических колебаний, лучистой энергии, механической энергии трения либо энергии высокочастотных механических колебаний.

В конечном итоге активация, независимо от способа ее осуществления, состоит в нагреве свариваемых поверхностей и проявляется в повышении энергии теплового движения макромолекул. Вблизи температуры стеклования (в случае стеклообразных полимеров) возникает возможность движения отдельных сегментов макромолекул; при температурах, близких к температурам текучести, макромолекулы путем последовательного перемещения сегментов могут перемещаться относительно друг друга.

Иногда процессу нагрева предшествует и сопутствует ряд других явлений, обусловленных специфическими особенностями применяемых источников энергии: смещение диполей под воздействием высокочастотного электрического поля при высокочастотной сварке; механические колебания ультразвуковой частоты при сварке ультразвуком и др. В случае растворимых полимеров для активации свариваемых поверхностей могут быть использованы также растворители; при химической сварке — вещества, вступающие в химическое взаимодействие со свариваемым материалом.

Процессы взаимодействия активированных свариваемых поверхностей при их контакте в наибольшей степени влияют на свойства образовавшегося сварного соединения, так как только при реализации в зоне контакта взаимодействия между макромолекулами полимера, характерного для исходного материала, возможно получение соединения, близкого к нему по свойствам. Силы межмолекулярного взаимодействия (силы Ван-дер-Ваальса) и особый вид межмолекулярного взаимодействия — и водородная связь проявляется на расстояниях, равных $(3/4) \times 10^{-7}$ мм. Поэтому сущность этой стадии процесса состоит в сближении макромолекул соединяемых поверхностей на такие расстояния.

Кроме того, в процессе образования сварных соединений происходит формирование надмолекулярной структуры в зоне контакта.

Надмолекулярная структура в значительной степени определяет физико-механические и другие свойства материала. Поэтому для того чтобы материал сварного шва был максимально близким по свойствам к исходному материалу, необходимо создать в шве надмолекулярные структуры, характерные для целого материала. Характер названных структур зависит как от свойств полимерных молекул, так и от условий, в которых происходит формирование соответствующих структур.

Существенное влияние на характер надмолекулярных структур оказывают условия охлаждения расплава. Особенно условия охлаждения следует учитывать в том случае, если при сварке полностью нарушалась исходная надмолекулярная структура материала на контактируемых поверхностях.

Механизм образования сварных соединений при сварке термопластов (без применения веществ, способных вступать в химическое взаимодействие со свариваемым материалом) может различаться в зависимости от температуры, при которой она осуществляется. Если сварка происходит при температурах ниже температуры текучести полимера, т.е. если свариваемые поверхности находятся в высокоэластичном состоянии, образование сварных соединений обусловлено главным образом диффузией сегментов через границу раздела. Прочность сварных соединений в этом случае возрастает с увеличением температуры и продолжительности сварки. Зависимость прочности от температуры имеет экспоненциальный характер и описывается уравнением:

$$d_p = \sigma_0 e^{\frac{U}{RT}}$$

где d_p — прочность сварного соединения при расслаивании; U — энергия активация процесса; R — газовая постоянная; T — температура сварки; σ_0 — константа.

Когда же контактируемые поверхности находятся в состоянии вязкого расплава, сварка термопластов происходит быстро, продолжительность процесса в ряде случаев исчисляется секундами (особенно при ультразвуковой и высокочастотной сварке). Прочность получаемых при этом сварных соединений мало зависит от температуры вязкого расплава и продолжительности сварки. В ряде случаев она приближается к прочности основного материала. В сварных швах отсутствует

граница раздела соединяемых поверхностей, швы практически не разрушаются по первоначальной плоскости контакта, а надмолекулярная структура материала шва отличается от структуры исходного материала и зависит от условий охлаждения расплава.

Согласно выдвинутой К.И. Зайцевым «реологической концепции», механизм образования сварных соединений термопластов в состоянии расплава включает два этапа.

На первом этапе происходит макроскопическое течение полимера. При течении из зоны контакта вытесняются ингредиенты, препятствующие взаимодействию макромолекул (газовая прослойка, окисленные и дефектные слои), при этом возможно и перемешивание расплава. На втором этапе между сближившимися макромолекулами возникает вандер-ваальсово взаимодействие (аутогезия), включая и взаимную диффузию, обусловленную энергетическим потенциалом и неравномерностью теплового поля в месте соединения. Эта концепция послужила основной для разработки расчетных методов определения режимов сварки термопластов.

Таким образом, процесс сварки термопластов в вязкотекучем состоянии подобен сварке плавлением металлов. В первую очередь при контакте расплавленных поверхностей напряжение сдвига, создаваемое усилием прижима, вызывает перемещение (сдвиг) слоев расплава. Это перемещение расплава способствует удалению из зоны соединения воздушной прослойки и других инородных включений. Оно проявляется в выдавливании расплава из зоны соединения, что неизбежно сопутствует качественной сварке.

Скорость сдвига в различных участках контактируемых поверхностей может различаться из-за некоторой неравномерности их нагрева и неравномерного распределения давления.

Все это приводит к завихрениям и перемешиванию макрообъемов расплава, что особенно характерно для способов сварки, сущность которых состоит в воздействии на материал высокочастотных механических либо электрических колебаний.

Диффузия участков молекулярных цепей и целых макромолекул имеет место при нагреве; возможна и рекомбинация молекулярных цепей, но указанные процессы протекают в микрообъемах и являются вторичными.

Высокая скорость образования прочных сварных соединений при сварке термопластов в вязкотекучем состоянии обусловлена процессами течения и перемешивания макрообъемов расплава. Это наглядно подтверждает тот факт, что чем ниже температура сварки при сварке в вязкотекучем состоянии, тем больше должно быть сварочное давление необходимое для получения сварных с максимальной прочностью. Учитывая, что повышение температуры сварки (температурного расплава), как и увеличение сварочного давления (напряжения сдвига), приводит к увеличению скорости сдвига расплава, получение сварных соединений с максимальной прочностью при сварке в вязкотекучем состоянии возможно только при обеспечении оптимальной скорости сдвига расплава.

Об определяющей роли процессов течения при сварке термопластов в вязкотекучем состоянии еще в большей степени свидетельствует связь между скоростью течения расплава V_t и свойствами сварных соединений (коррозионной стойкостью и ударной вязкостью).

Как отмечалось К.И. Зайцевым, это явление происходит потому, что при малых скоростях сближения свариваемых деталей вследствие неинтенсивного течения расплава, не происходит полного удаления ингредиентов из зоны контакта свариваемых деталей, так как дефектные слои на контактируемых поверхностях не разрушаются, а лишь растягиваются. Превышение же скорости нарастания давления свыше оптимальной приводит к такому увеличению скорости течения расплава, при котором он переходит из текучего состояния в эластическое, т.е. наблюдается «эффект Виноградова». Во втором случае ингредиенты также не удаляются из зоны контакта свариваемых деталей, так как дефектные слои полностью не выносятся расплавом в грат и не обеспечивается достаточно полного взаимодействия и взаимной диффузии макромолекул на границе контакта, что при работе сварного соединения проявляется как снижение длительной прочности и других эксплуатационных свойств.

Следовательно, сварка термопластов в вязкотекучем состоянии (плавлением), имеющая значительные преимущества перед диффузионной в отношении как свойств получаемых соединений, так и производительности процессы, определяются в первую очередь реологическими свойствами расплавов.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

Сварка труб и деталей трубопроводов из термопластов — основная операция при изготовлении и монтаже трубопроводов. Целью сварки пластмассовых труб является получение неразъемного соединения, равнопрочного основному материалу. На рис. 2.1 приведены основные способы сварки термопластов, применяемых в настоящее время при изготовлении узлов трубопроводов и их монтаже. В зависимости от способа и условий сварки, материала и применяемого оборудования сварной шов отличается по свойствам от материала стенок труб, так как процессы получения труб и сварного шва не идентичны по технологии их производства.

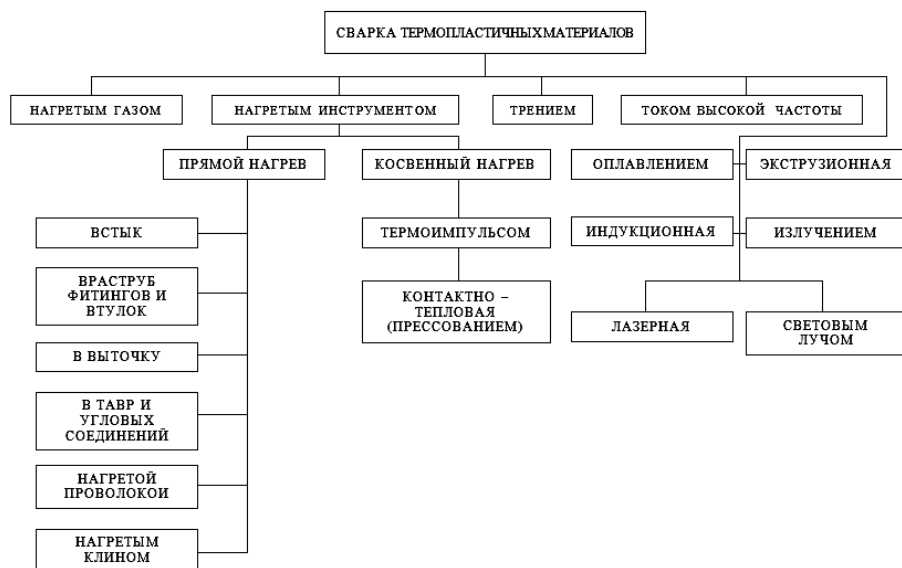


Рис. 2.1. Основные способы сварки термопластичных материалов

В основу классификации способов сварки положен принцип термического воздействия на свариваемые детали. Поэтому коротко рассмотрим физико-химические основы сварки полимерных материалов.

В основе механизма образования сварного шва лежит процесс реализации межмолекулярных сил путем нагрева соединяемых поверхностей и создания контакта между ними. В зависимости от метода полу-

чения пластмассовых труб и деталей, подлежащих сварке (экструзия, прессование, отливка, штамповка), в их поверхностных слоях происходят процессы, приводящие к значительным изменениям физических и химических свойств по сравнению с этими же свойствами во внутренних слоях. Наружные и внутренние слои стенок труб отличаются по плотности, степени кристалличности и ряду других физико-химических показателей, что оказывает определенное влияние на качество сварного соединения. Существенные изменения происходят на поверхности кромок труб под воздействием нагрева. Нагреваемая поверхность окисляется интенсивнее, а вследствие деструкции полимера на ней могут образовываться газовые поры. При нагреве отмечается неупорядоченная деформация нагретой поверхности. Таким образом, макромолекулярные слои поверхностей полимерных деталей, подлежащих сварке, экранированы окисными пленками (ингредиентами), которые препятствуют их сближению, а следовательно, и взаимодействию, т.е. сварке.

Количественными показателями свариваемости термопластов является ширина температурного интервала текучести и минимальная вязкость в этом температурном интервале.

По свариваемости различают четыре группы термопластов.

1-я группа — хорошо сваривающиеся термопласты, температурный интервал вязкотекучего состояния которых составляет более $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, минимальная вязкость — менее 10^3 П , градиент снижения вязкости — более $100\text{ П}/10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2-я группа — удовлетворительно сваривающиеся термопласты, у которых температурный интервал вязкости — не более $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, вязкость расплава — не выше 10^5 П , градиент — не менее $50\text{ П}/10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3-я группа — ограниченно сваривающиеся термопласты, у которых температурный интервал вязкотекучести составляет не более $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, энергия активации вязкого течения меньше, чем энергия химических связей макромолекул, а вязкость расплава — выше 10^7 П .

4-я группа — трудносваривающиеся термопласты, у которых энергия активации вязкого течения выше энергии химических связей.

Как показала практика сварки полимеров, качество сварного соединения определяют следующие показатели: температура нагрева T_n , время нагрева t_n , давление P_{oc} первоначального контакта деталей с нагревателем (при сварке нагретым инструментом) или деталей между собой (при высокочастотной, ультразвуковой сварке или сварке трением).

После достижения необходимой глубины проплавления, т.е. перевода слоя определенной толщины на кромках труб в текучее состояние, производится их осадка под давлением $P_{ос}$ на заданную величину $\Delta_{ос}$. При осадке происходит частичное вытеснение расплава из зоны сварного стыка в грат. В процессе стыковой сварки осадка идет до тех пор, пока давление, прикладываемое к свариваемым трубам, не уравнивается с напряжением сдвига вытесняемого в грат расплава. Для удаления из зоны контакта ингредиента необходимо обеспечить вытеснение расплава из центральных зон сварного стыка (из середины стыкуемых кромок труб). Для этого требуется при данной вязкости расплава и давлении иметь определенный объем расплава, т.е. определенную глубину проплавления h_0 . Это и является центральной задачей при определении режима сварки пластмассовых труб.

Глубина проплавления h_0 , необходимая для обеспечения удаления ингредиентов, препятствующих взаимодействию макромолекул, зависит от вида свариваемого материала (его вязкости в интервале текучести), геометрических размеров сопрягаемых кромок и способа сварки. Для данного материала и данных заготовок необходимая минимальная глубина проплавления зависит от толщины экранирующего поверхностного слоя и величины газовой прослойки, защемляемой между свариваемыми кромками. Наибольшая глубина проплавления требуется при сварке нагретым газом и инструментом, наименьшая — при сварке трением и ультразвуковой сварке. Глубина проплавления регулируется путем изменения основных параметров сварки. Вследствие неравномерности температурного поля, различной скорости снижения температуры при остывании стыка, а также структурных изменений, в сварном шве после сварки возникают остаточные напряжения. Максимальные значения напряжений в шве к концу сварки достигают предела текучести материала. Однако вследствие релаксационных процессов в течение 5...10 ч остаточные напряжения снижаются до уровня 25...30 % предела текучести.

При остывании стыка происходит усадка шва и образуется впадина — шейка. Величина деформации зависит от способа сварки, материала и его теплофизических свойств, геометрических размеров шва и параметров режима сварки. Как правило, использование способов и режимов сварки с большим тепловложением ведет к возникновению больших деформаций. Снижения величины деформации можно добиться за счет уменьшения глубины проплавления, уменьшения вели-

чины грата, а также снижения мощности теплоисточника и времени его воздействия на свариваемые кромки. Иногда практикуется термомеханическая и механическая обработка (удаление грата).

Таким образом, качество сварного соединения труб и деталей зависит от качества исходного материала заготовки (однородности материала, качества подготовки под сварку и т.д.); технологии сварки (выбор способа и режимов сварки); послесварочных операций (термомеханическая и механическая обработка).

В практике строительства пластмассовых трубопроводов наиболее широкое распространение получили следующие способы сварки в зависимости от условий производства работ:

- нагретым инструментом (контактная);
- нагретым газом с применением присадочного материала;
- закладным нагревательным элементом (на остающихся муфтах);
- экструзионная;
- излучением.

Выбор того или иного способа сварки осуществляется монтажной организацией в зависимости от требований, предъявляемых к сварным стыкам монтируемого трубопровода, условий выполнения сварочных работ, а также от технической оснащенности и наличия сварочного оборудования.

2.3. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ И КОНСТРУКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Соединения труб и деталей трубопроводов между собой — самые ответственные элементы технологических трубопроводов, от качества которых зависит их герметичность, надежность в эксплуатации. Кроме того, конструкция соединения должна обеспечивать удобство и быстроту сборки, экономичность, хорошие гидравлические характеристики.

Надежность соединения обеспечивается правильным выбором конструкции и способа выполнения, высоким качеством труб, соединительных деталей, присадочных и вспомогательных материалов; совре-

менным техническим оборудованием и набором приспособлений для сборки и сварки; высокой квалификацией монтажников; изготовлением узлов трубопроводов в условиях трубозаготовительных мастерских; контролем качества сборочно-сварочных работ, а также соблюдением правил эксплуатации трубопроводов.

По функциональному назначению различают два вида соединений технологических трубопроводов: неразъемные (сваркой и склейкой) и разъемные (на фланцах или резьбовых деталях). Неразъемные соединения по технологии выполнения разделяются на сварные и клеевые. По конструкции шва сварные и клеевые соединения можно разделить на стыковые и раструбные, являющиеся разновидностью нахлесточных соединений (табл. 2.1, 2.2, 2.3).

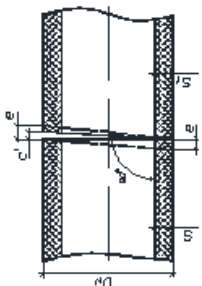
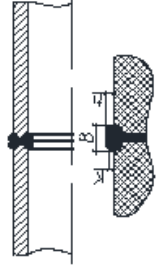
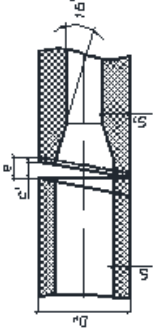
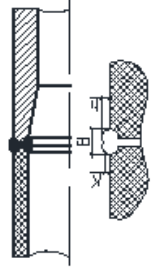
Стыковые соединения обеспечивают более благоприятное распределение напряжений в шве, однако площадь шва при этом определяется толщиной стенки трубы. В раструбных соединениях площадь сварки или склейки может многократно превышать площадь поперечного сечения конструкции. Достоинством раструбных сварных и клеевых соединений по сравнению со стыковыми, помимо увеличения площади соединяемых поверхностей, является также свойство повышенной стойкости к изгибающим усилиям, которые, как правило, возникают в процессе монтажа и эксплуатации.

Неразъемные соединения труб и деталей из ПНД и ПП с D_n 40 мм и выше и толщиной стенки более 3 мм выполняют контактной сваркой встык. Трубы из ПВД с $D_n = 16...140$ мм и толщиной стенки 3...12 мм должны соединяться с помощью литых деталей заводского изготовления контактной сваркой внахлест и раструбно-стыковой сваркой. Неразъемные соединения трубопроводов из ПНД, ПВД и ПП с помощью раструбов, отформованных на концах труб, применяют, как правило, при изготовлении и монтаже трубопроводов D_n до 160 мм, однако допускается применение этих соединений и для труб D_n до 225 мм.

Для безнапорных трубопроводов в некоторых случаях допускается использование сварки нагретым газом и экструзионной сварки. По сравнению с нагретым газом экструзионная сварка обеспечивает высокую производительность и повышенную прочность швов, которые возрастают при увеличении толщины стенки трубы.

Таблица 2.1

Конструктивные элементы сварных стыковых соединений и швов пластмассовых трубопроводов, мм

Обозначение шва	Конструкция соединения	Конструктивные элементы		$S (S_1)$	d_H	D_H	C	e
		подготовленных кромок	шва сварного соединения					
С1 С8 С9	Труба с трубой			3...30	—	20...200 225...400 450...630	0,3 0,5 0,7	1 2 4
	Труба с втулкой под фланец							
	Фасонная часть с канализационной трубой							
С2	Труба с трубой			3...30	—	32...200 225...400 450...630	0,3 0,5 0,7	1 2 4

Окончание табл. 2.1

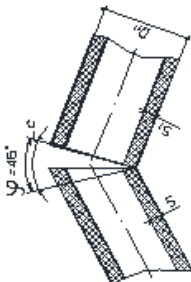
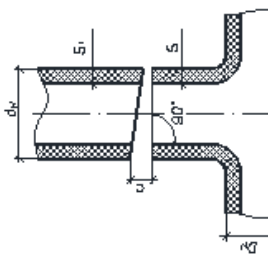
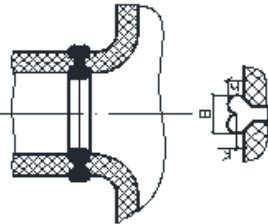
Обозначение	Конструкция соединения	Конструктивные элементы		$S (S_1)$	d_H	D_H	C	e
		подготовленных кромок	шва сварного соединения					
СЗ	Секторы (колена) отводов			4...30	—	32...200	0,3	—
						225...400	0,5	—
						450...630	0,7	—
С4	Паутубок с трубой в переходном тройнике			6...23 (3...23)	63...75 63...90 90...110 90...125 110...140 110...160 110...150	110	0,3	—
						125		
						140		
						160		
						180		
						200		
						225		

Таблица 2.2

Конструктивные элементы сварных тавровых соединений и швов пластмассовых трубопроводов, мм

Обозначение шва	Конструкция соединения	Конструктивные элементы		$S(S_1)$	$D_{\text{н}}$	$S_{\text{н}}$	q в мм
		подготовленных кромок	шва сварного соединения				
T1	Патрубок, усиленный изнутри (T1), снаружи (T2) с трубой	См. рис. 2.2	См. рис. 2.3	6...30	110	63	1
T2				6...30 (7...36)	125...160 180...225	90 125	1 2
T3	Патрубок с трубой	См. рис. 2.4	См. рис. 2.5	6...20 (4...24)	110 125...160 180...225	63 90 110	1 1 2
					250...315	160	3
T4	Патрубок седельчатый с трубой	См. рис. 2.6	См. рис. 2.7	3...6	50 90 110	40 50 90	2

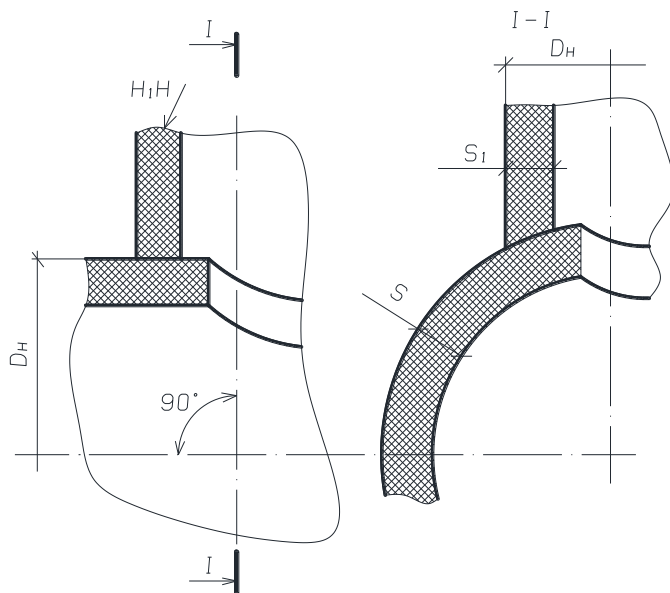


Рис. 2.2. Конструктивные элементы подготовленных кромок (швы T1 и T2)

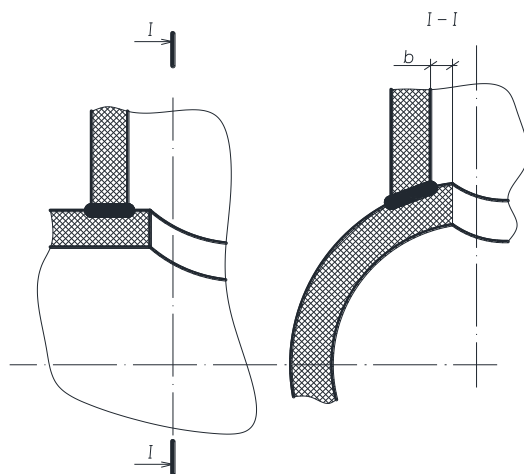


Рис. 2.3. Конструктивные элементы шва сварного соединения (швы T1 и T2)

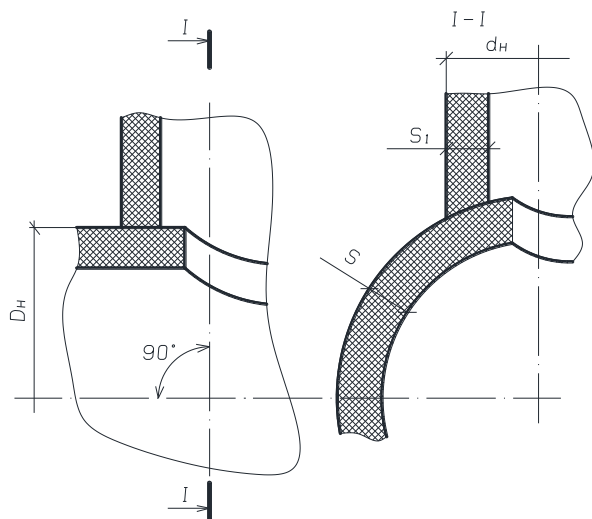


Рис. 2.4. Конструктивные элементы подготовленных кромок (швы ТЗ)

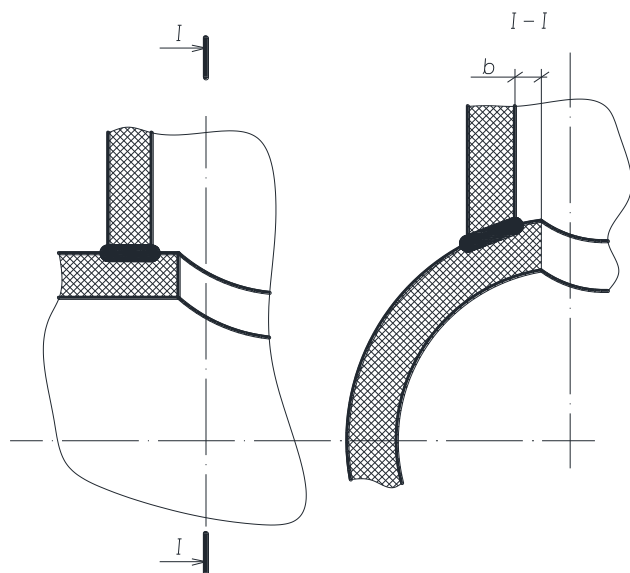


Рис. 2.5. Конструктивные элементы шва сварного соединения (швы ТЗ)

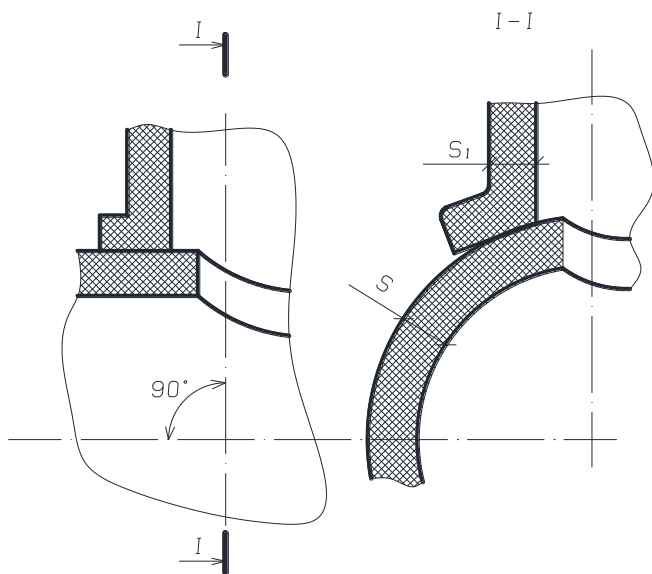


Рис. 2.6. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов Т4)

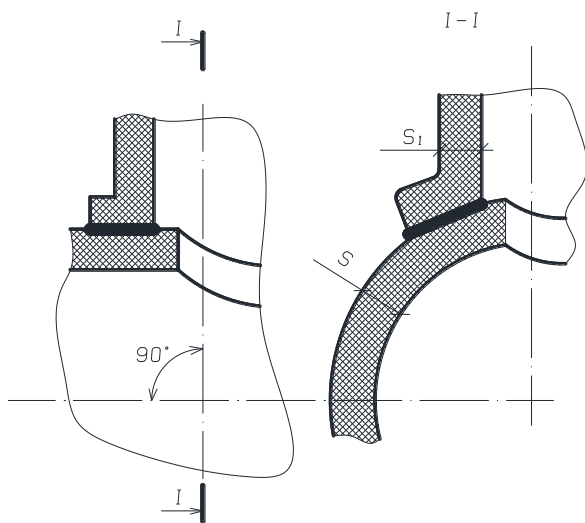


Рис. 2.7. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов Т4)

Таблица 2.3

Конструктивные элементы нахлесточных сварных соединений и швов пластмассовых трубопроводов, мм

Обозначение швов	Конструкция соединения	Конструктивные элементы		$S (S_1)$	D_H	t
		подготовленных кромок	шва сварного соединения			
H1		См. рис. 2.8	См. рис. 2.9	—	10...16 16...20 25...32	7...11 13...14 16...18
H2		См. рис. 2.10	См. рис. 2.11	2...4	40...50 63...75 90...110	20...23 27...30 35...42
HC1	Труба с трубой	См. рис. 2.12	См. рис. 2.13	—	125...140 160...180	45...50 55...60
HC2		См. рис. 2.14	См. рис. 2.15	2...10	16...140	14...61
HC3	Втулка с муфтой			2...10	16...50	1
HC4	Труба с фасонной частью	См. рис. 2.16	См. рис. 2.17	2...12	16...140	4...31 14...61

Окончание табл. 2.3

Обозначение шва	Конструкция соединения	Конструктивные элементы		$S (S_1)$	D_H	t
		подготовленных кромок	шва сварного соединения			
НС5	Муфта с переходом	См. рис. 2.18	См. рис. 2.19	3...12	20...140	16...61
НС6	Фасонная часть с канализационной трубой	См. рис. 2.20	См. рис. 2.21	3...6	40	12...20
					50	15...25
					90	22...45
					110	26...55
НС7	Заглушка с трубой	См. рис. 2.22	См. рис. 2.23	2...10	16...25	13...16
					32...40	18...20
					50...63	23...27
					75...110	30...42
НЗ	Накладка поперечная с трубой	См. рис. 2.24	См. рис. 2.25	6...16	Св. 40	До 100
Н4	Накладка продольная с трубой	См. рис. 2.26	См. рис. 2.27	6...16	Св. 100	До 80

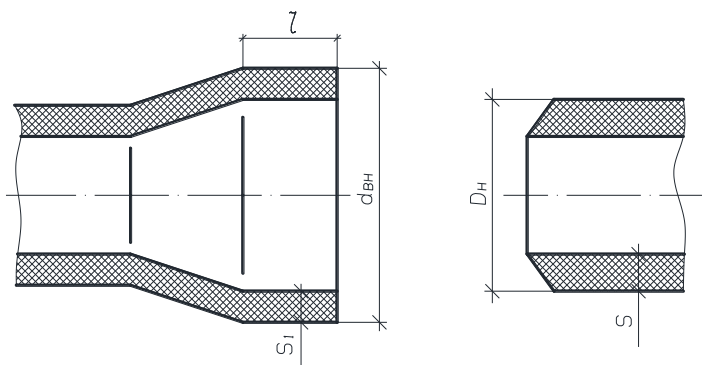


Рис. 2.8. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов Н1)

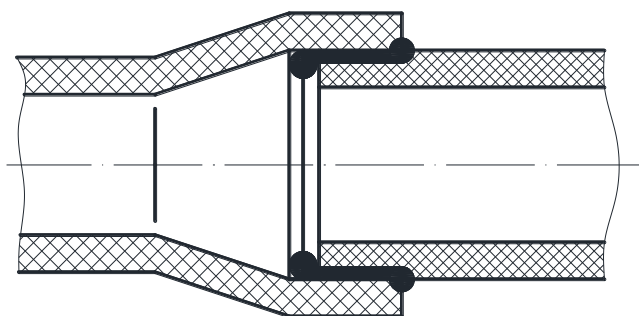


Рис. 2.9. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов Н1)

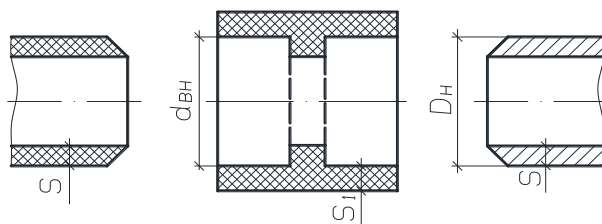


Рис. 2.10. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов Н2)

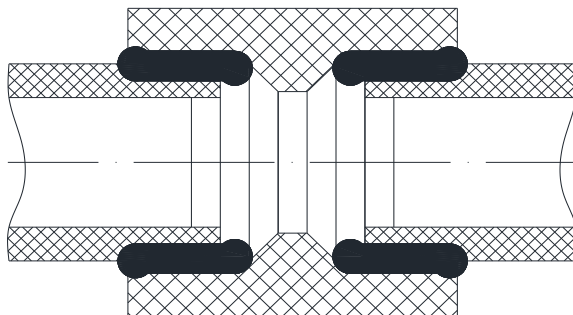


Рис. 2.11. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов Н2)

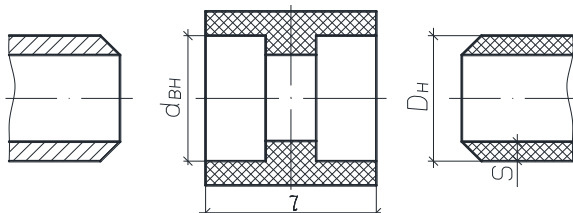


Рис. 2.12. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов НС1)

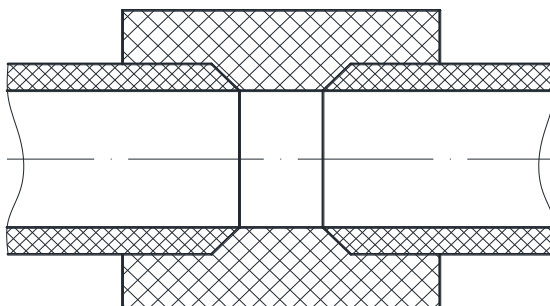


Рис. 2.13. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов НС1)

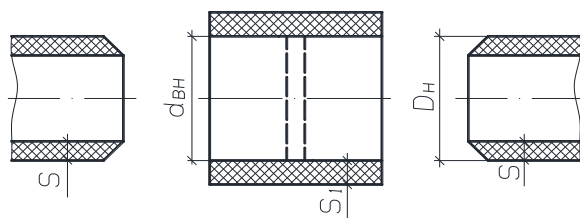


Рис. 2.14. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов НС2)

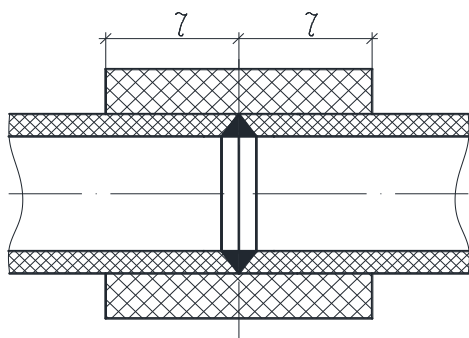


Рис. 2.15. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов НС2)

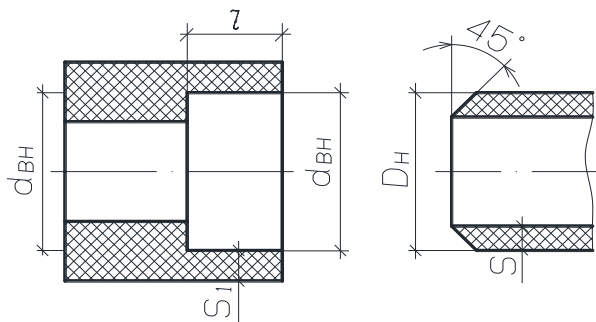


Рис. 2.16. Конструктивные элементы подготовленных кромок (швы НС3 и НС4)

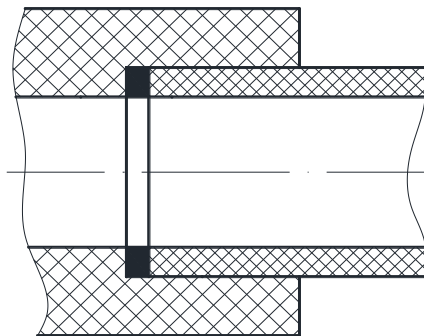


Рис. 2.17. Конструктивные элементы шва сварного соединения (швы НС3 и НС4)

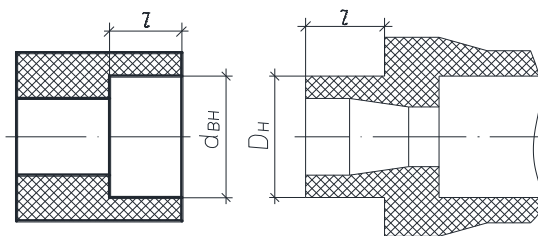


Рис. 2.18. Конструктивные элементы подготовленных кромок (швы НС5)

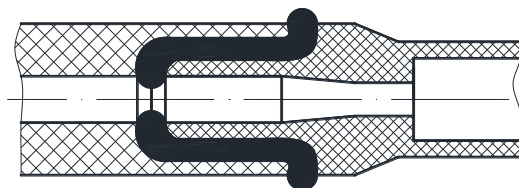


Рис. 2.19. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов НС5)

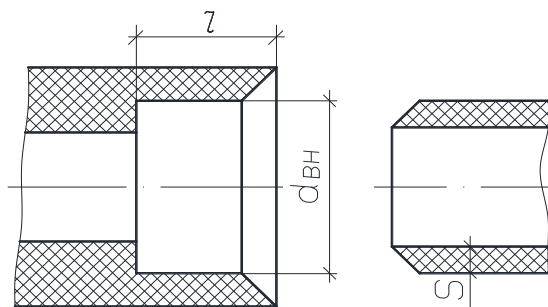


Рис. 2.20. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов НС6)

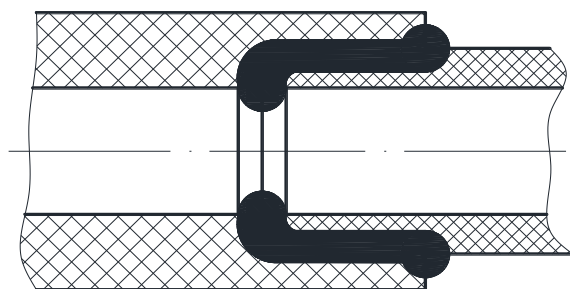


Рис. 2.21. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов НС6)

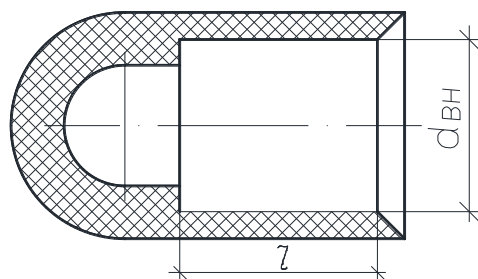


Рис. 2.22. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов НС7)

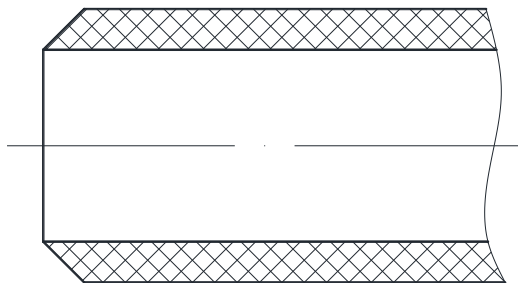


Рис. 2.23. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов НС7)

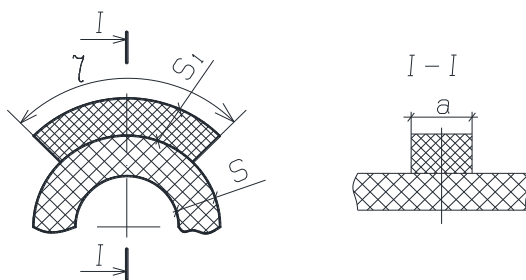


Рис. 2.24. Конструктивные элементы подготовленных кромок (шов НЗ)

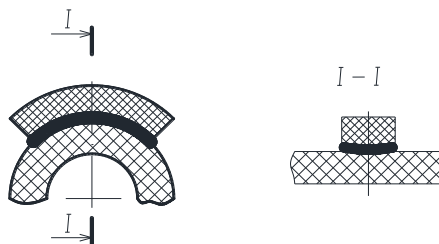


Рис. 2.25. Конструктивные элементы шва сварного соединения (шов НЗ)

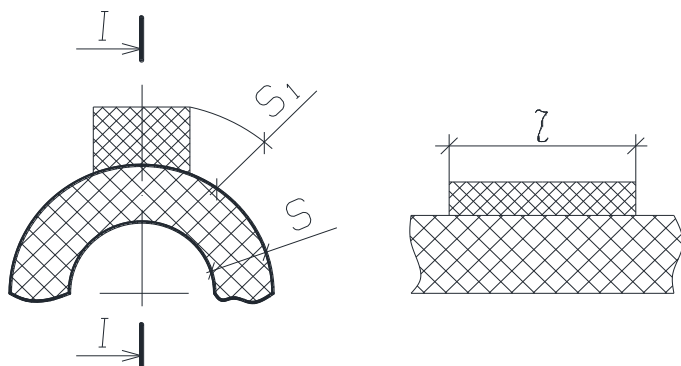


Рис. 2.26. Конструктивные элементы подготовленных кромок (швы Н4)

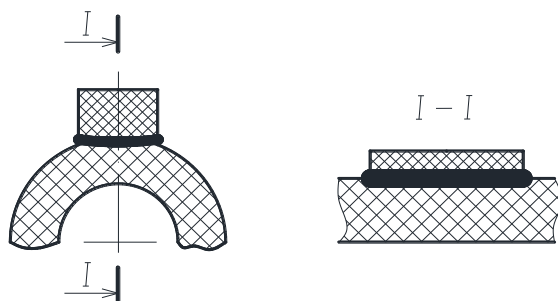


Рис. 2.27. Конструктивные элементы шва сварного соединения (швы Н4)

2.4. ПОДГОТОВКА ТРУБ И ДЕТАЛЕЙ К СВАРКЕ

Подготовка к сварке (склеиванию) определяется технологией получения труб, условиями их транспортировки и хранения. Трудоемкость подготовки увеличивается при нарушении правил погрузочно-разгрузочных работ, хранения труб и деталей (например, превышение высоты штабеля труб, отсутствие укрытия от солнечных лучей и загрязнений).

Подготовка к работе по сборке и сварке должна производиться на специально оборудованной площадке в летний период или в помещении с плюсовой температурой в зимний период.

Первой обязательной операцией при подготовке труб и деталей к сварке является подбор их по материалам, партиям поставки, наружным диаметрам и толщинам стенок. Используемые для сварки и склеивания трубы и детали должны иметь сертификаты завода-изготовителя, удостоверяющие их качество.

Затем производится визуальный осмотр труб и деталей и их сортировка. Концы труб не должны иметь усадочный конус, овальность не должна превышать 10 % толщины стенки, а трещины, задиры и царапины — глубины более 0,5 мм. Следует учесть, что трубы из поливинилхлорида особенно чувствительны к трещинам и царапинам. Такой подбор труб и деталей позволяет уменьшить влияние свойств материала на качество сварных соединений и подобрать трубы с подходящими геометрическими размерами, что очень важно при стыковой сварке. Например, недопустимо смешивать трубы из полиэтилена низкого и высокого давления, полиэтилена и полипропилена и пр., так как при сварке будет невозможно обеспечить надежность сварного соединения. В случае овальности, превышающей допустимую и ведущую к смещению кромок при сборке и стыковой сварке более 10 % толщины стенки, но не более 1,2 мм, концы труб должны быть подвергнуты калибровке.

Усадочный конус и участки труб, расположенные на концах и имеющие забоины и трещины, должны быть обрезаны. При этом срез должен располагаться от конца трещины на расстоянии не менее 50 мм.

Следующим этапом подготовки труб и деталей к сварке и склеиванию является очистка их концов от грязи, масла, краски и других веществ. При раструбной сварке и склеивании они должны быть очищены и обезжирены изнутри и снаружи на расстояние более 30 мм от длины раструба. Удаление грязи с поверхности труб и деталей необходимо производить водой с применением волосяных щеток, с последующей протиркой ветошью до сухого состояния. Применять металлические щетки и скребки не допускается во избежание повреждения поверхности труб.

Для обезжиривания поверхности труб и деталей, а также присадочных прутков от масел, грязи, пыли применяют спирт, ацетон, уайт-спирит и другие вещества, обеспечивающие очистку и не влияющие на качество сварки или склеивания. Выбор материала для очистки склеиваемых поверхностей производится с учетом состава клеевой композиции (например, при применении клея марки ГИПК-127 нельзя применять уайт-спирит).

Для выравнивания и снятия поверхностного слоя, который был поврежден при транспортировке или неправильном хранении (например, под воздействием солнечных лучей), трубы подвергают механической обработке — обрезке, фрезерованию и т.д. При этом в зависимости от длительности и условий хранения труб, толщина удаляемого слоя должна быть не менее 1...3 мм. Торцовку наиболее рационально производить в центровочной установке сварочного станка не ранее чем за 6...8 ч до сварки, во избежание окисления и повторного загрязнения поверхностей, подлежащих сварке.

Используемые при сварке присадочные материалы (прутки, гранулы) должны подвергаться внешнему осмотру с последующим отбором дефектных прутков, имеющих на поверхности трещины, сколы, поры. Далее их подвергают сортировке по однотипности материала и геометрических размеров.

Загрязненные присадочные материалы должны быть очищены водой, а при наличии жировых включений — растворителями, применяемыми для обезжиривания труб. После промывки прутков и гранул, они подвергаются сушке при температуре не ниже 20 °С в течение 24 ч. Прутки для сварки труб и деталей из поливинилхлорида непосредственно перед сваркой рекомендуется зачистить мелкой шкуркой и протереть сухой ветошью.

Перед сваркой рабочие поверхности нагревательного инструмента необходимо очистить от прилипшего расплавленного материала и других загрязнений, используя для этого алюминиевые, латунные или деревянные скребки и чистую ветошь. Для удаления масел с поверхности инструмента производят обезжиривание инструмента в холодном состоянии уайт-спиритом.

В случае применения антиадгезионного покрытия нагревательной поверхности инструмента из лакоткани на основе фторопласта Ф-4Д, необходимо осмотреть пленку и при необходимости заменить ее на новую.

К производству работ по сварке или склеиванию допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие подготовку по программам, утвержденным в установленном порядке, имеющие удостоверения о допуске к

сварке или склеиванию пластмассовых трубопроводов, а также прошедшие практику.

Сварку трубопроводов из полиэтилена допускается производить при температуре окружающего воздуха не ниже $+10^{\circ}\text{C}$, из полипропилена — не ниже 0°C , а сварку и склеивание труб из поливинилхлорида — не ниже $+5^{\circ}\text{C}$. При более низких температурах сварку и склеивание следует выполнять в утепленных помещениях. Кроме того, при выполнении сварочных работ и склеивании трубопроводов на открытом воздухе необходимо осуществлять местную защиту стыка от ветра и атмосферных осадков.

Рекомендуется перед началом работ с новой партией труб и деталей провести сварку контрольных стыков для проверки и корректировки режимов сварки и технологии склеивания.

2.5. СВАРКА НАГРЕТЫМ ГАЗОМ

Сварку нагретым газом, как правило, выполняют с применением присадочного материала, который по свойствам соответствует основному свариваемому материалу.

Присадочные прутки выбирают в соответствии с требованиями нормативно-технических документов на производство сварочных работ. Лучшее качество сварного соединения получают при применении присадочного материала с пластификаторами. Диаметр прутка подбирается в зависимости от толщины свариваемого материала, геометрии сварного шва, скорости сварки и требуемой прочности соединения. С увеличением диаметра прутка сокращается время, необходимое для заполнения разделки, а также увеличивается прочность сварного соединения. Однако применение прутков диаметром более 4...5 мм нежелательно, так как обеспечить их равномерный прогрев не представляется возможным.

Обычно корень шва заполняют прутком 2 мм, при толщине свариваемого материала менее 4 мм шов заполняют прутком диаметром 3 мм, а при толщине материала более 4 мм — прутком диаметром 4 мм.

Для сварки используют прутки выпуска в виде тонких стержней простого (круглого) и сложного (двойного) профилей. Прутки простого

профиля выпускают диаметром 2...4 мм, длиной 500 мм, сложного — 3...6 мм, длиной 1500 мм.

В качестве газа-теплоносителя применяется сжатый воздух, очищенный от влаги и масла, газовоздушная смесь продуктов сгорания пропан-бутана, а также инертные газы — азот, аргон и др. При этом необходимо отметить, что инертные газы используются для сварки конструкций из полиолефинов и пентапласта с повышенными требованиями к прочности швов.

Сварка нагретым газом пластмасс различных конструкций, трубопроводных систем производится вручную с использованием электрических или газовых горелок, обеспечивающих нагрев газа-теплоносителя и поддержание заданной температуры.

В электрических горелках газ-теплоноситель нагревается за счет контакта с электроспиралями мощностью 300...800 Вт при напряжении 36 В. Температура газа-теплоносителя регулируется изменением сопротивления цепи (реостатом) и скорости подачи газа в горелку (регулирующим краном). Из отечественных горелок широкое применение нашла горелка марки ГЭП-2, мощностью 750 Вт, напряжением питания 36 В, массой 0,75 кг при расходе газа-теплоносителя 3...7 м³/ч и давлении не более 0,5 МПа.

Рассмотрим *особенности работы с электрическими горелками.*

Первоначально открывают вентиль подачи газа-теплоносителя, затем включают электропитание нагревательного элемента. Через 3...5 мин после включения для обеспечения требуемой температуры газа-теплоносителя производят дорегулировку его расхода. При расходе 3 м³/ч температура на выходе из наконечника горелки составляет порядка 600 °С, при расходе 5 м³/ч — 380 °С, при расходе 7 м³/ч — 250 °С. После окончания сварки необходимо вначале выключить электропитание нагревательной спирали, а затем, когда температура выходящего из наконечника газа-теплоносителя снизится до температуры окружающего воздуха, перекрывают вентиль.

Нарушение этой последовательности включения и выключения электрической горелки приводит к преждевременному перегоранию электронагревательной спирали.

При работе в труднодоступных местах хорошо зарекомендовали себя электрогорелки, у которых корпус с электронагревательным элементом и рукоятка расположены соосно. Для этой цели была разработана горелка мощностью 600 Вт при напряжении питания 36 В, массой

0,5 кг при расходе газа-теплоносителя 2...6 м³/ч (рис. 2.28). Горелка комплектуется специальным источником питания.

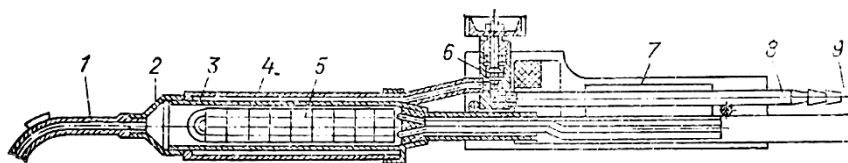


Рис. 2.28. Горелка для сварки пластмасс:

- 1 — наконечник; 2 — втулка переходная; 3 — корпус; 4 — кожух; 5 — нагревательный элемент; 6 — узел регулировки расхода газа-теплоносителя; 7 — рукоятка; 8 — штуцер; 9 — кабель питания

В зависимости от применяемых наконечников горелок ручную сварку выполняют в обычном и скоростном режимах, что в настоящее время широко практикуется зарубежными фирмами.

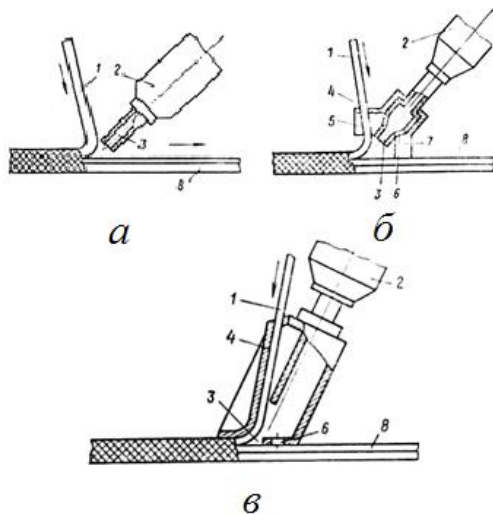


Рис. 2.29. Сварка с использованием различных наконечников горелок:

- а — трубчатых; б — с каналами; в — с прижимными губками; 1 — присадочный прут; 2 — сварочная горелка; 3 — выходной канал наконечника; 4 — направляющая для прутка; 5 — канал предварительного подогрева прутка; 6 — канал предварительного подогрева заготовок; 7 — направляющий клин; 8 — свариваемые заготовки

При обычной сварке используют трубчатые наконечники (рис. 2.29, а), направляя струю газа-теплоносителя веерообразным движением на основной материал и присадочный пруток. Скоростную сварку выполняют с использованием специальных наконечников, снабженных каналами для предварительного подогрева прутка и основного материала, при этом пруток может укладываться в шов вручную (рис. 2.29, а, б) или механически при помощи прижимных губок или роликов наконечников (рис. 2.29, в).

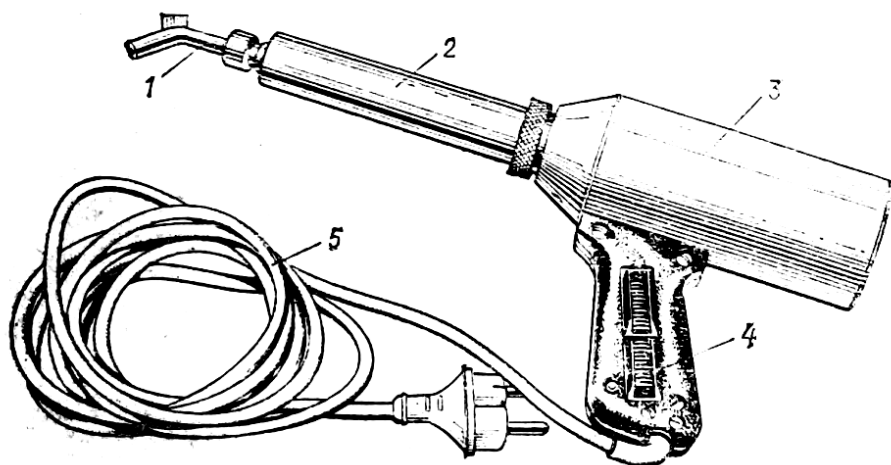


Рис. 2.30. Горелка со встроенным малогабаритным компрессором:
1 — наконечник; 2 — нагреватель электрический; 3 — микрокомпрессор;
4 — рукоятка; 5 — электрокабель

В зарубежной практике строительства пластмассовых трубопроводов для сварки нагретым газом широко применяют электрические горелки со встроенными малогабаритными компрессорами для подачи воздуха в зону сварки (рис. 2.30). В настоящее время разработаны опытные образцы и отечественных горелок подобного типа. Несмотря на увеличение массы такой горелки, они очень удобны в работе. При этом отпадает необходимость комплектовать пост сварки отдельным компрессором или баллонами со сжатым газом, что позволяет повысить производительность и снизить трудоемкость монтажа, особенно при работе на высотных отметках, повысить маневренность сварщика благодаря наличию одного энергетического источника. Как показал опыт

работы, время на подготовку сварщика к работе сокращается в 3-4 раза и не зависит от внешних факторов (обслуживание компрессора, перенос шлангов и т.д.).

Для сварки полимеров применяются также газовые горелки прямого и косвенного действия. В горелках косвенного действия газом-теплоносителем является воздух или инертный газ, который нагревается пламенем горючего газа (пропан-бутана или природного газа) в змеевике, расположенном внутри корпуса горелки. К таким горелкам относится, например, горелка ГТК-1-67, в которой воздух нагревается пламенем пропан-бутана или природного газа, подаваемого под давлением 0,005...0,1 МПа при расходе горючего газа 0,36 м³/ч. Расход газом-теплоносителя составляет 0,12 м³/ч при давлении 0,1...0,2 МПа. Масса горелки — 0,85 кг.

Из горелок прямого действия наиболее распространена горелка марки ГПП-1-66, которая при давлении пропан-бутана или природного газа 0,01...0,1 МПа и воздуха — 0,5 МПа, обеспечивает скорость сварки порядка 20...25 м/ч. При этом расход пропан-бутана составляет 0,025...0,04 м³/ч природного газа — 0,03...0,11 м³/ч. Горелки снабжаются комплектами съемных наконечников, применяемых в зависимости от профиля сварного соединения.

Рассмотрим *приемы сварки нагретым газом (прутковая сварка)*.

До начала сварки конец прутка зачищают и обрезают под углом примерно 40°, а сам пруток зачищают наждачной бумагой для увеличения шероховатости его поверхности (благодаря этому ускоряется процесс сварки и повышается прочность стыка). Затем конец прутка нагревается и укладывается в основание шва.

Во время сварки прутки держат в одной руке на расстоянии 70...90 мм от поверхности сварки, а горелку — в другой. По мере укладки прутки необходимо передвигать вверх плавно, не прерывая процесса сварки. Для обеспечения непрерывности сварки длину прутка необходимо брать на 50...70 мм больше длины свариваемого шва.

При размягчении прутка на расстоянии 20...30 мм от точки сваривания прутка и основного материала, сварку необходимо приостановить и охладить прутки. При смене или обрыве прутка конец приваренного прутка нагревают и срезают под углом 30...40°. Затем к полученному срезу внахлестку приваривают аналогично подготовленный новый прутки. При этом необходимо следить, чтобы на шве расстояние между стыками прутков, последовательно укладываемых один под другим, было не менее 8 мм.

Укладку присадочного прутка в стык начинают с проварки корня шва, затем заполняют материалом прутка всю разделку кромок по толщине стенки. Струю газа-теплоносителя при сварке обычными наконечниками направляют попеременно круговыми или колебательными движениями горелки на сварочный пруток и кромки стыка. Сварочный пруток нагревают до более высокой температуры, чем соединяемые поверхности, что заметно при сварке, например, труб из ПВХ по цвету прутка — он становится темно-коричневым.

Расстояние между поверхностью кромок стыка и наконечником горелки должно быть примерно 5 мм. По мере разогрева и размягчения прутка и свариваемых кромок, нажимом руки вдавливают пруток в стык.

При сварке труб из ПВХ, ПНД и ПП пруток держат перпендикулярно поверхности сварного шва. При угле наклона прутка менее 90° возможно продольное сжатие прутка (продольный изгиб): это обусловлено тем, что при таком угле соединения присадочный материал нагревается на большее расстояние, чем при угле соединения в 90° , в результате чего нельзя создать требуемое усилие вдавливания прутка в шов, а из-за продольного сжатия пруток изгибается в шве. Если угол наклона больше 90° , то пруток, уложенный в шов, удлиняется, вследствие чего при охлаждении возникают внутренние напряжения и пруток может разорваться. При сварке полиэтилена высокого давления лучшие результаты достигаются при угле между прутком и поверхностью сварки $\alpha=120^\circ$, оставаясь одновременно перпендикулярным оси трубы (рис. 2.31).

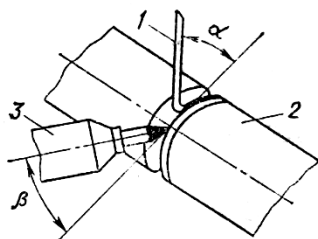


Рис. 2.31. Схема сварки нагретым газом (прутковая сварка):

1 — сварочный пруток; 2 — труба; 3 — горелка

Угол наклона наконечника горелки и поверхности сварного шва (β) должен быть 30° при толщине стенки до 5 мм и 45° — при толщине

стенки св. 5 мм. При сварке внахлестку пруток необходимо держать под углом 45° к оси трубы.

Процесс сварки идет правильно, если перед прутком движется небольшой валик расплавленного материала прутка и кромок труб. Скорость укладки прутков в шов должна быть не ниже 10 м/ч при сварке прутком площадью поперечного сечения до 8 мм^2 и не ниже 7 м/ч — при сварке прутком сечением св. 8 мм^2 .

При сварке нагретым газом необходимо следить за чистотой подаваемого в горелку воздуха и температурой газа-теплоносителя. Чистоту воздуха проверяют с помощью фильтровальной бумаги или хлопчатобумажного материала белого цвета (их помещают перед наконечником горелки).

При сварке труб температура теплоносителя, контролируемая по показаниям термометра, должна иметь следующие значения в зависимости материала, из которой изготовлена труба: ПНД — 250°C ; ПВД — 240°C ; ПВХ — 230°C ; ПП — 260°C .

Эта температура увеличивается на $10\ldots 15^\circ\text{C}$ при температуре окружающего воздуха ниже 15°C при сварке труб из ПВХ и ПП, ниже 10°C из ПНД и ниже 5°C — из ПВД.

Отличительной особенностью сварки нагретым газом является подвод тепла непосредственно к соединяемым поверхностям и последовательно от одного участка шва к другому. Этот вид сварки универсален, отличается простотой сварочного инструмента, пригоден для сварки во всех пространственных положениях шва.

При этом виде сварки предъявляются меньшие по сравнению с другими видами сварки требования к точности подгонки стыка. И даже несмотря на сравнительно низкую производительность и недостаточно высокую прочность соединения, особенно при изгибающих и ударных нагрузках, этот вид сварки применяется для соединения элементов безнапорных трубопроводов из жестких термопластов.

Соединения труб бывают стыковыми и раструбными. Стыковое соединение более рационально, его прочность при растягивающих нагрузках выше, чем раструбного, так как последнее имеет меньшую площадь сечения углового шва и более неравномерное распределение напряжения. При изгибающих нагрузках предпочтительнее раструбное соединение.

Для уменьшения и равномерного распределения сварочных напряжений в шве, присадочный материал при сварке укладывают в шов в

определенной последовательности (рис. 2.32). Каждый последующий валик укладывают после естественного охлаждения предыдущего до температуры 30 °С. При выполнении раструбного соединения угловой шов по периметру трубы должен иметь катет, равный толщине стенки раструба. Зачистка выступающих над поверхностью деталей валиков шва не требуется.

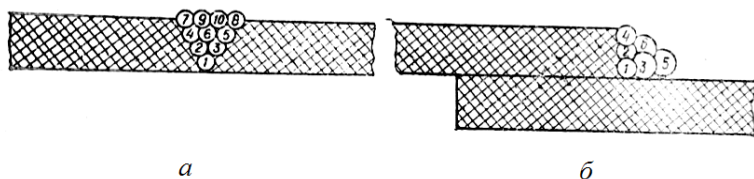


Рис. 2.32. Последовательность укладки прутков в сварной шов:
а — стыковой; б — нахлесточный

Качество сварных соединений, выполняемых нагретым газом (прутковой сваркой), находится в прямой зависимости от подготовки деталей к сварке, положения горелки в процессе сварки, угла наклона прутка при подаче его в шов, температуры, расхода и давления газа-теплоносителя, его скорости и давления, расстояния от наконечника горелки до свариваемых поверхностей, усилия вдавливания размягченного прутка, диаметра прутка, диаметра отверстия наконечника горелки, а также от профессиональной подготовки сварщика и соблюдения им технологических приемов и режимов сварки.

2.6. КОНТАКТНАЯ СВАРКА 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 (рис. 2.33).

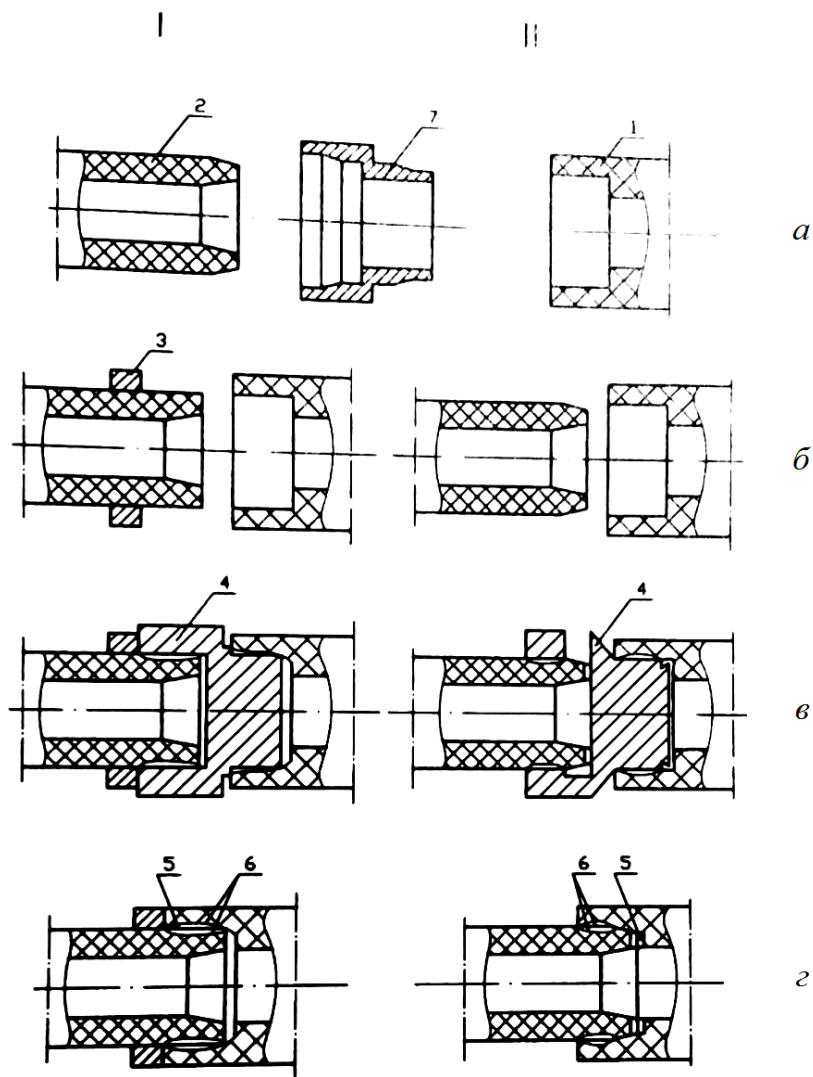


Рис. 2.33. Последовательность сварки:

I — раструбной; *II* — раструбно-стыковой; *а* — калибровка; *б* — подготовка к сварке; *в* — оплавление трубы и детали на нагретом инструменте; *г* — сварное соединение;
 1 — раструбный конец (трубы или детали); 2 — труба; 3 — ограничительный хомут;
 4 — нагретый инструмент; 5 — оплавленная зона детали;
 6 — сварной шов; 7 — калибр

Нагревательный инструмент имеет сложную конфигурацию, при которой наружный диаметр дорна должен быть равным или несколько больше номинального внутреннего диаметра раструба, а внутренний диаметр гильзы должен быть равным или несколько меньше минимального наружного диаметра трубы (рис. 2.34).

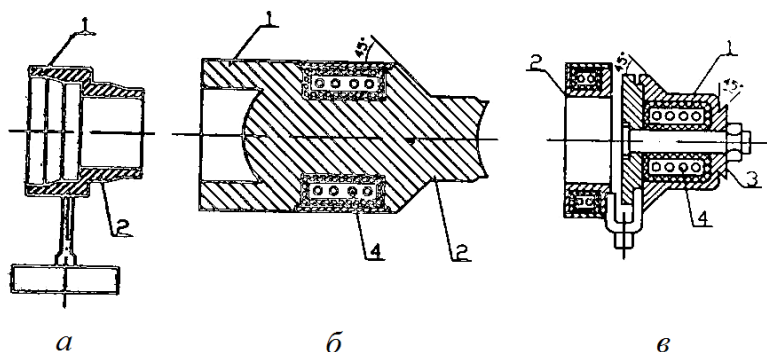


Рис. 2.34. Элементы раструбной сварки:

а — калибр для проверки размеров свариваемых концов труб и раструбов соединительных деталей; *б* — нагревательный инструмент для раструбной сварки; *в* — нагревательный инструмент для раструбно-стыковой сварки; 1 — гильза; 2 — дорн; 3 — места оплавления торцов; 4 — электронагреватель

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.

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 должна быть в 3 раза больше продолжительности нагрева);
- охлаждение соединения;
- удаление центрирующего приспособления.

В зависимости от материала труб для обеспечения надежного оплавления поверхностей температура нагревательного инструмента меняется в пределах 300...260 °С. Также в зависимости от материала и толщины стенки трубы продолжительность нагрева составляет от 6 до 50 с, а охлаждение сварного соединения — от 2 до 10 мин. Технологическая пауза (время, за которое необходимо удалить нагревательный инструмент из зоны сварки) не должна превышать 1...2 с. При применении приспособлений, обеспечивающих быстрое сопряжение деталей, сварка в раструб допускается при минимальной температуре окружающего воздуха до –15 °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 для создания дополнительного давления при сварке. Перед каждой сваркой рабочие поверхности нагревательного инструмента необходимо очистить от материала, налипшего в процессе предыдущей сварки.

Для усиления несущей способности раструбных соединений применяют раструбно-стыковую сварку, когда одновременно нагреваются торцы труб и боковые поверхности.

Раструбные соединения не получили распространения для сварки ответственных трубопроводов из-за сложности проведения подготовительных и сварочных работ, и возникающей в связи с этим возможности снижения качества их выполнения в целом. В России после

2-5 лет эксплуатации из-за постоянных утечек газа в местах соединения вращающихся полиэтиленовые газопроводы были вырезаны и заменены на стальные. В настоящее время в России этот вид соединения для газопроводов запрещен, но в Белоруссии и на Украине он разрешен, кроме того, он применяется также при строительстве водопроводов и канализации.

2.7. КОНТАКТНАЯ СВАРКА ВСТЫК

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 -15°C до $+40^{\circ}\text{C}$.

Технологический процесс проходит в следующей последовательности (рис. 2.35):

- закрепление концов труб в зажимах центратора сварочной машины;
- механическая обработка концов труб с помощью торцевателя (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 $0,3 \dots 0,5$ мм);
- оплавление и нагрев свариваемых поверхностей нагретым инструментом (оплавление торцов производится под давлением $(0,2 \pm 0,02)$ 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.

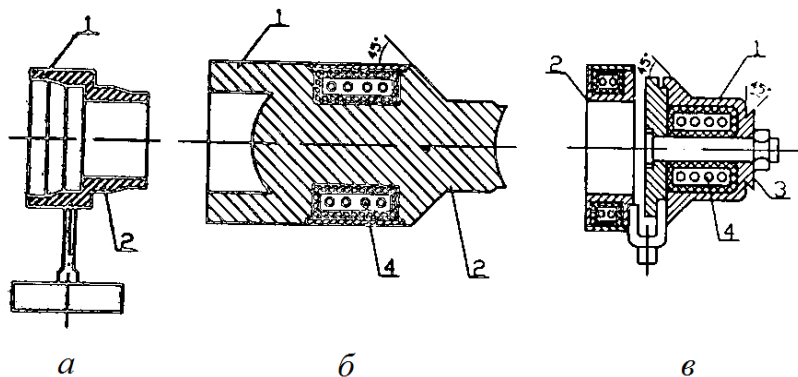


Рис. 2.35. Последовательность процесса сборки и сварки встык:

а — центровка и закрепление в зажимах сварочной машины концов свариваемых труб; *б* — механическая обработка торцов труб с помощью торцевателя; *в* — проверка соосности и точности совпадения торцов по величине зазора (величина зазора нормируется, в зависимости от диаметра труб); *г* — оплавление и нагрев свариваемых поверхностей нагретым инструментом; *д* — осадка стыка до образования сварного соединения; 1 — труба; 2 — торцеватель; 3 — нагретый инструмент; 4 — грат, образованный в результате оплавления торцов труб (размеры грата «*б*» и «*h*» нормируются, в зависимости от диаметра труб)

Температура нагретого инструмента в процессе сварки должна автоматически поддерживаться постоянной. Ее величина в зависимости от материала труб и температуры окружающего воздуха может колебаться в пределах 200...230 °С. В зависимости от материала и толщины стенки трубы, а также от температуры окружающего воздуха продолжительность нагрева составляет 50...360 с, давления осадки — 3...16 с, а охлаждение сварного соединения — 4...36 мин. Технологическая пауза (время, за которое необходимо удалить нагревательный инструмент из зоны сварки) зависит от толщины стенки трубы, и ее величина колеблется в пределах 3...6 с (для труб диаметром свыше 315 мм — 12 с). Технологический процесс сварки встык более прост по сравнению со сваркой внахлест и легче поддается автоматизации.

Рассмотрим 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.

Если сварочная машина управляет и контролирует всеми вышеперечисленными параметрами, она считается машиной с высокой степенью автоматизации. Если хотя бы один из параметров машиной не выполняется, то она относится к средней степени автоматизации. Те сварочные машины, в которых управление основными параметрами сварки осуществляется вручную, но контроль автоматизирован, относятся к ручным. Возникает вопрос, почему нельзя применить более простые термины — «автомат» и «полуавтомат»? Это связано с тем, что начальный этап технологического процесса сварки встык не поддается автоматизации или чрезмерно ее усложняет (в частности, необходима механическая обработка концов труб с помощью торцевателя; удаление стружки из зоны сварки; проверка соосности и точности совпадения торцов труб по величине зазора между ними). Все эти операции выполняются вручную. Некоторые производители сварочных машин высокой и средней степени автоматизации как дополнительную меру, обеспечивающую качество сварки, нормируют время нарастания давления осадки. Огромным преимуществом этих машин является наличие электронного устройства, позволяющего протоколировать весь процесс сварки, что позволяет практически полностью исключить возможность субъективной оценки правильности проведения сварочного процесса.

Не рекомендуется соединять сваркой встык трубы разной толщины, однако при определенных условиях возможно стыковое соединение труб из разных марок полиэтилена.

Для сварки труб с соединительными деталями потребуется сварочная машина, в центраторе которой можно удалить тот или иной зажим, так как соединительные имеют разную конфигурацию. Концы труб и деталей центрируют по наружной поверхности таким образом, чтобы максимальная величина смещения наружных кромок не превышала 10 % от толщины стенок труб и деталей. При сварке встык вылет концов труб из зажимов центраторов обычно составляет 15...30 мм, а при свариваемых деталей — не менее 5...15 мм. Сам процесс сварки аналогичен процессу сварки труб. Рекомендуется сварку соединительных деталей с трубами производить в условиях мастерских. При этом де-

таль приваривают к полиэтиленовому патрубку длиной не менее 0,8...1,0 м. Маркировка стыков (номер стыка и код оператора) производится несмываемым карандашом-маркером или клеймом на горячем расплаве грата через 20...40 с после окончания операции осадки в процессе охлаждения стыка.

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 сварные колена, тройники, крестовины.

Сварка встык широко применяется для соединения труб мерной длины и больших диаметров (от 140 мм) при строительстве газопроводов, водопроводов, канализации и пр.

2.8. СВАРКА ПРИ ПОМОЩИ ДЕТАЛЕЙ С ЗАКЛАДНЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ

Сварку при помощи деталей с закладными нагревателями (ЗН) можно применять для соединения труб любых диаметров и длины (особенно она эффективна для соединения длинномерных труб), а также для приварки к трубопроводу седловых отводов, усиливающих муфт и т.п. Сварка производится при температуре окружающего воздуха от -15°C до $+15^{\circ}\text{C}$. Суть технологического процесса сварки заключается в том, что встроенные в соединительную деталь закладные нагреватели (проволочные электроспирали) разогревают место соприкосновения поверхностей детали и трубы, в результате происходит расплавление и смешивание материала поверхностных слоев, который после охлаждения представляет собой однородную массу. Сам процесс проходит в следующей последовательности (рис.2.36):

- подготовка концов труб (разметка под деталь с ЗН, механическая обработка — циклевка свариваемых поверхностей труб, их обезжиривание, а также в случае необходимости обезжиривание детали с ЗН);
- сборка стыка (установка и закрепление концов свариваемых труб в зажимах центрирующего приспособления с одновременной посадкой детали с ЗН);

- подключение детали с ЗН к сварочному аппарату (ввод информации — задание режима процесса сварки);
- пуск процесса сварки (нагрев);
- охлаждение соединения;
- удаление центрирующего приспособления.

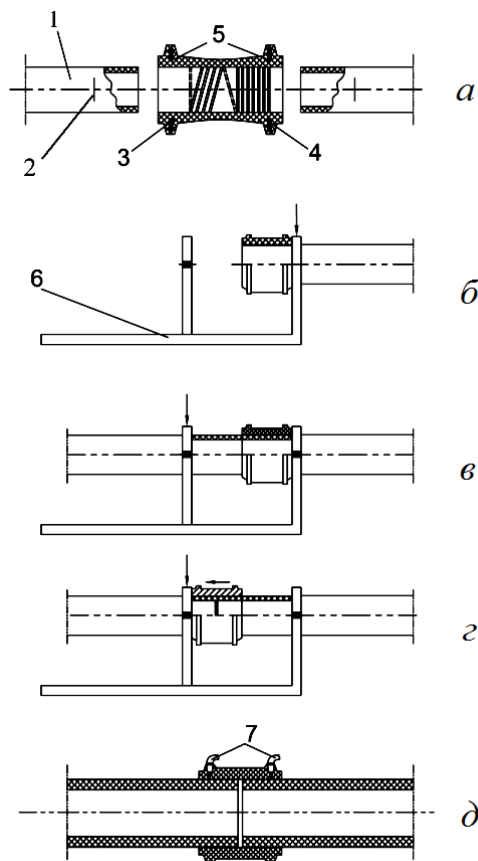


Рис. 2.36. Последовательность соединения труб муфтой с закладным нагревателем:

а — подготовка соединяемых элементов; *б, в, г* — этапы сборки стыка; *д* — собранный под сварку стык; 1 — труба; 2 — метка посадки муфты и механической обработки поверхности трубы; 3 — муфта; 4 — закладной нагреватель; 5 — клеммы токопровода; 6 — приспособление для сборки; 7 — токоподводящие кабели сварочного аппарата

Параметры режимов сварки устанавливаются в зависимости от вида и сортамента используемых соединительных деталей с ЗН и/или сварочных аппаратов, в соответствии с указаниями заводоизготовителей в паспортах изделий. При включении аппарата процесс сварки происходит в автоматическом режиме, результаты сварки протоколируются.

Для подсоединения ответвлений к распределительному трубопроводу служат седловые отводы с ЗН (рис. 2.37), которые привариваются к поверхности трубы, затем в трубе специальной фрезой (не оставляющей стружки) прорезается отверстие и подключается трубопровод ответвления.

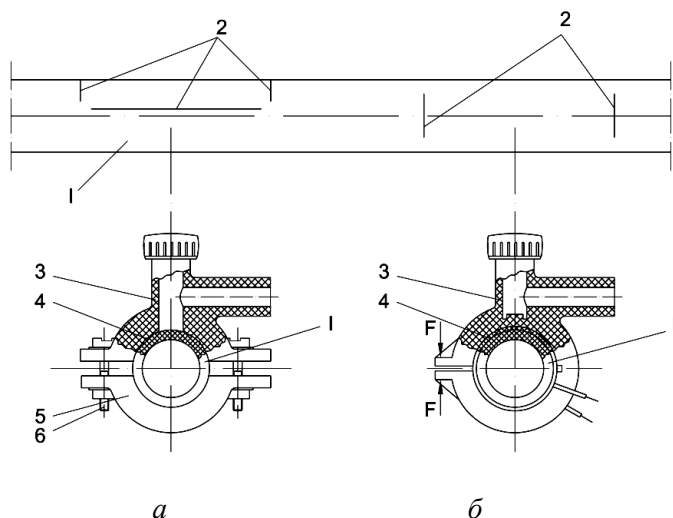


Рис. 2.37. Соединение полиэтиленовой трубы и седловых отводов с закладными нагревателями:

а — седловой отвод с закладным нагревателем; *б* — отвод с разрезной муфтой с закладным нагревателем; 1 — труба; 2 — метки посадки отводов и механической обработки поверхности трубы; 3 — отвод; 4 — закладной нагреватель; 5 — полухмут; 6 — винты крепления; *F* — усилие прижатия отвода при сборке и сварке

Седловые отводы изготавливаются разных конструкций и диаметров. Есть конструкции, в которых фреза встроена, в других совмещены функции фрезы и отключающего устройства. Управление отключающим устройством, совмещенным с седловым отводом, осуществляется

через телескопическую приводную штангу, конец которой выводится на поверхность, под люк или ковер. Применение седловых отводов позволяет присоединять отводные трубопроводы без снижения давления среды в распределительном трубопроводе, кроме того, при использовании длинномерных труб максимально сохраняется их целостность, так как отверстие прорезается только в месте подключения ответвления, в отличие от подключения ответвления при помощи тройника.

Однако необходимо учитывать, что диаметр прорезаемого отверстия всегда будет меньше диаметра подключаемого ответвления, что необходимо брать в расчет при учете гидравлических потерь. Трубопровод ответвления приваривается к патрубку седлового отвода при помощи муфты с ЗН.

Сварка при помощи деталей с ЗН получила наибольшее распространение за рубежом, в России она долгое время не применялась, несмотря на наличие отечественных разработок. Считалось, что этот вид сварки намного дороже и сложнее, чем сварка встык, при этом не учитывались следующие факторы:

- надежность соединения за счет большей площади свариваемой поверхности и механического обжатия деталью с ЗН тела трубы (исключение составляют седельные ответвления и патрубки-накладки);
- возможность соединения труб с толщиной стенки менее 5 мм;
- автоматический процесс сварки;
- сварочный аппарат в 3-5 раз дешевле машины для сварки встык;
- снижение стоимости деталей с ЗН по мере расширения их производства.

Относительно большая стоимость деталей с ЗН их малым количеством, необходимым для соединения длинномерных труб (например, при использовании труб длиной до 400 м при диаметре 110 мм или 1300 м при диаметре 63 мм). Так, в сочетании с небольшой стоимостью сварочного аппарата, общая стоимость такого соединения значительно ниже стоимости сварного соединения встык и надежнее соединения вращтруб. Кроме соединения длинномерных труб и труб с толщиной стенки менее 5 мм, этот способ сварки эффективен при производстве ремонтных работ и незаменим при реконструкции изношенных трубо-

проводов с использованием профилированных полиэтиленовых труб, а также для соединения труб разной толщины или материалов.

У каждой фирмы есть свои конструктивные решения фитингов с ЗН и предусматриваются разные режимы сварки, поэтому рассмотрим их более подробно. К основным режимам сварки относятся 5 видов:

1. Ручной — уровень напряжения или уровень тока, время сварки устанавливается вручную, по паспортным данным фитинга.

2. Штрих-код или магнитная карта — автоматическая система распознавания технологии сварки, когда информация записана в 24- или 32-разрядном штрих-коде или занесена на магнитную карту.

3. Фьюзиматик — время сварки определяется через значения встроенных в деталь сопротивлений при фиксированном уровне напряжения — 39,5 В.

4. Саморегулирования (RAR) — нет определенного времени сварки: сварка считается законченной, когда расплавленный материал выходит в специальные окошечки и давит на микровыключатели при фиксированном уровне напряжения — 39,5 В.

5. Мемо — внутри фитинга находится микросхема с запрограммированными параметрами сварки.

Первоначально каждому типу фитингов предназначался свой сварочный аппарат. Такие сварочные аппараты, настроенные на сварку только определенных типов фитингов, называются специализированными. Они стоят недорого, но покупатель впоследствии теряет гораздо больше, так как вынужден покупать фитинги только той фирмы, для которых предназначен этот аппарат. Поэтому большинство производителей сварочной техники перешло к выпуску универсальных сварочных аппаратов, в электронном блоке управления которых заложены программы сварки разных типов фитингов. Чем больше таких программ заложено в памяти сварочного аппарата, тем больше свободы у его владельца в выборе более дешевых фитингов. Кроме выполнения функции установления режима сварки, штрих-код является универсальным способом введения информации о фитинге в память сварочного аппарата. Штрих-кодом могут снабжаться фитинги, конструкция которых предусматривает и другие режимы сварки. В этом случае в

штрихах кодируются параметры конструктивного для данного фитинга режима сварки при определенной температуре окружающего воздуха.

В 24-разрядном штрих-коде указывается:

- изготовитель и конструктивная деталь;
- размер;
- параметры сварки;
- положение запятой для сопротивления;
- сварочное напряжение, сопротивление
- детали;
- допуск на сопротивление;
- время сварки;
- температурная компенсация;
- контрольная цифра.

В 32-разрядном штрих-коде указывается:

- сведения о конструктивной детали;
- параметры сварки;
- маркировка изготовителя;
- цифровой код изготовителя;
- диаметр детали;
- партия изделий, соотношение толщин стенок
- труб;
- заготовка фасонной части;
- сварочное напряжение и сварочный ток;
- сопротивление детали или мощность в Ваттах;
- класс допуска на сопротивление;
- температурный коэффициент проволоки;
- время сварки или суммарная энергия в Джоулях;
- температурная компенсация;
- контрольная цифра.

Такая информация после введения с помощью считывающего карандаша в память аппарата, позволяет сварочному аппарату осуществить обратный контроль (связь с фитингом) перед началом сварки, а в случае несоответствия параметров фитинга введенной информации — заблокировать начало проведения сварки, выводя на экран дисплея сигнал «Ошибка». Наличие большого количества нулей в штрих-коде говорит об отсутствии информации по ряду вопросов, что снижает воз-

возможности осуществления проверочных функций контроля (обратной связи аппарата с фитингом), поэтому к применению таких фитингов следует относиться более внимательно. Магнитная карта содержит сведения только об определенном режиме сварки фитинга, поэтому имеет ограниченное применение и не может служить источником информации для других режимов. Штрих-код наклеивается на фитинг, а магнитная карта прикладывается к каждому фитингу. Несмотря на наличие в электронном блоке управления сварочного аппарата программы сварки других режимов для выполнения сварки в этих режимах, как правило, требуются специальные приспособления (кабели, зажимы, разъемы и т.п.).

2.9. ЭКСТРУЗИОННАЯ СВАРКА

Этот способ сварки называют так потому, что для соединения деталей используют поступающий из экструдера присадочный материал (экструдат) в термопластичном состоянии. Сущность сварки термопластов состоит в том, что расплавленный материал, выходящий из экструдера или другого устройства, непрерывно и плавно под определенным давлением подается в разделку (зазор) между соединяемыми поверхностями, нагревает их до температуры сварки и, сплавляясь с ним, образует сварной шов. Этот метод высоко производителен, обладает широкими технологическими возможностями и позволяет получать высококачественные сварные соединения.

Сварка экструдированной присадкой близка к процессу сварки пластмасс газом-теплоносителем с применением присадочного прутка, а также к сварке металлов плавящимся электродом. Во всех этих случаях сварное соединение образуется за счет сплавления присадочного материала с кромками соединяемых деталей.

Различие между сваркой металлов и пластмасс заключается в том, что металл переходит в жидкую фазу, а полимер остается в вязкотекучем состоянии. Поэтому для получения плотного контакта расплавленного присадочного материала с кромками свариваемых деталей необходимо создавать давление. В настоящее время разработаны и внедрены различные способы сварки полимерных материалов экструдированной присадкой. Способ сварки, при котором расплавленный присадочный материал непрерывно поступает в зону соединения из мундштука

экструдера, находящегося на некотором расстоянии от поверхности свариваемого изделия, называют бесконтактной экструзионной сваркой или просто экструзионной (рис. 2.38, *а*, *б*). В этом случае для обеспечения плотного контакта присадочного материала с соединяемыми поверхностями применяют специальные прижимные устройства. Экструзионную сварку широко применяют для соединения полимерных пленок и пленочных армированных материалов. Преимуществом сварки пленок данным способом является то, что исключается возможность утолщения материала в зоне шва, которое наблюдается при использовании других методов.

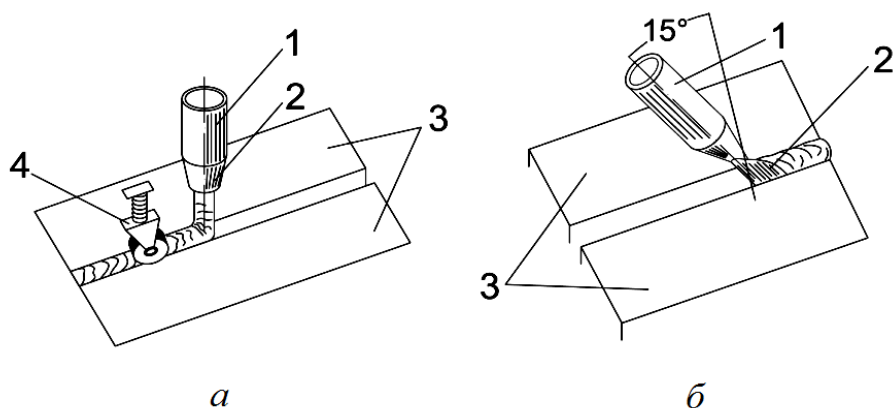


Рис. 2.38. Схема сварки пластмасс экструдированной присадкой:

а — экструзионная сварка; *б* — контактно-экструзионная сварка; 1 — экструдер; 2 — мундштук экструдера; 3 — свариваемые детали; 4 — прижимной ролик

Наиболее широкое применение в практике сварки как листовых, так и пленочных термопластов, нашла контактно-экструзионная сварка (рис. 2.38, *б*).

При этом способе разогретый мундштук экструдера, имеющего форму разделки кромок, вводят в разделку шва до контакта с кромками и перемещают по стыку под углом 10...15° к вертикали, одновременно заполняя разделку расплавленной присадкой.

Такой способ позволяет максимально снизить потери теплоты в окружающую среду и дополнительно обеспечить нагрев кромок шва за

счет теплопередачи от мундштука экструдера, температура которого близка к температуре выходящего из него расплава.

Соединяемые поверхности материала перед нагревом их мундштуком экструдера можно предварительно подогреть горячим газом. Способ сварки по этой схеме назван контактно-экструзионной сваркой с предварительным подогревом.

Разновидностью способов сварки пластмасс экструдированной присадкой является сварка литьем под давлением. При этом способе расплав периодически подается в зону соединения из литьевой машины. Сварку осуществляют в специальной форме, которая имеет каналы, расположенные по линии разъема. По этим каналам продавливается расплав, который, передавая часть теплоты кромкам деталей, расплавляет и соединяет их по линии разъема.

Таким способом соединяют заранее отштампованные детали. Данный способ обладает высокой производительностью, его применяют при сварке изделий в труднодоступных местах, по поверхностям сложной конфигурации, когда сварка другими способами невозможна.

Сварку экструдированной присадкой осуществляют для выполнения стыковых, угловых, тавровых и нахлесточных соединений. Конструктивные элементы подготовленных кромок и выполненных швов регламентированы ГОСТ 16310–80 и определяются толщиной материала, нагрузкой, действующей на сварную конструкцию и доступностью к месту сварки.

Сварку стыковых соединений осуществляют:

- без разделки кромок;
- с односторонней V-образной разделкой кромок;
- с двухсторонним X-образным скосом кромок.

Сварку стыковых соединений без разделки кромок выполняют при сборке конструкций из материалов толщиной до 3 мм и только контактно-экструзионным способом, так как в этом случае разделку шва осуществляют мундштуком экструдера непосредственно в процессе сварки.

Прочность сварных соединений, полученных с помощью экструзионной и контактно-экструзионной сварки, зависит от угла разделки кромок шва. Как показала практика, максимальная прочность стыковых сварных соединений с V-образной разделкой кромок достигается при

углах разделки кромок $70...90^\circ$, а соединения с Х-образной разделкой — при углах разделки $70...80^\circ$.

При оптимальных углах разделки кромок соединения с Х-образной разделкой имеют более высокую прочность и требуют меньшего расхода присадочного материала.

Поэтому при сварке встык конструкций из листового материала толщиной св. 8 мм, в случае доступности подхода к шву с двух сторон, предпочтительна Х-образная разделка кромок.

Угловые и тавровые соединения можно выполнять без разделки кромок. Однако скос увеличивает прочность сварного соединения. При сварке угловых и тавровых соединений между кромками необходимо устанавливать зазор 1,5...2 мм. При сварке с зазором расплавленная присадка под воздействием сварочного давления заполняет разделку на всю глубину, обеспечивая равномерное проплавление на все сечение шва. Сварка без зазора из-за высокой вязкости расплава приводит к непроплавлению корня шва, образованию раковин, которые снижают прочность и герметичность соединения.

Если при наличии зазора трудно обеспечить стабильное проплавление корня шва по всей его длине, то соединения выполняют с подваркой корня шва с обратной стороны.

В случае если обратная сторона недоступна, применяют подкладки, которые могут быть съемными или остающимися.

Сварка с подкладками имеет ряд преимуществ. Так, сварка ведется с одной стороны шва и ее можно осуществлять на форсированных режимах, что повышает производительность труда. Как правило, подкладки изготавливают из материалов с малой теплопроводностью — полимерных материалов, керамики, они могут быть металлическими с покрытием из полимерных материалов.

В процессе двухсторонней Х-образной разделки перед сваркой второго шва производится зачистка корня уже выполненного шва, при этом во всех случаях удаляется только наплавленный присадочный материал, врезание в основной материал не допускается.

При сварке стыковых и угловых соединений число проходов определяется толщиной свариваемого материала и производительностью экструдера. При толщине стенки изделия до 6 мм указанные соединения можно выполнить за один проход, при толщине более 6 мм — за несколько. В случае многопроходной сварки корень шва должен быть тщательно проварен, затем накладывают следующие слои таким образом, чтобы каждый последующий валик был более широким, чем

предыдущий. Перед наложением каждого валика поверхность предыдущего должна быть тщательно очищена от окисленного слоя и пыли.

При выполнении сварных соединений экструдированной присадкой применяется присадочный материал, аналогичный свариваемому.

При сварке композиционных материалов, состоящих из нескольких различных полимеров, в качестве присадки используют полимер, входящий в композицию и имеющий наиболее высокую температуру текучести.

Во всех случаях при сварке расплав вытекает в направлении, противоположном движению экструдера. Поэтому от характера передвижения мундштука зависит равномерность подачи расплава в зону сплавления, формирование шва, а также качество сварного соединения.

При выполнении сварки в вертикальном положении расплав под воздействием силы тяжести стремится стечь вниз, поэтому для удержания расплава в зоне сплавления вертикальные швы выполняют при перемещении экструдера сверху вниз при минимальной температуре присадки. Скорость сварки подбирается с таким расчетом, чтобы расплав не затекал перед мундштуком.

Сварка в потолочном положении экструдированной присадкой несколько затруднена, поэтому ее по возможности необходимо избегать. Потолочную сварку, как и сварку в вертикальном положении, необходимо осуществлять при минимальной температуре присадки. При такой же температуре следует выполнять сварку встык горизонтальных швов на вертикальной плоскости.

Бесконтактная экструзионная сварка характеризуется большим числом параметров, наиболее существенными из которых являются:

- температура присадочного материала на выходе из экструдера T , °C;
- сварочное давление P , МПа;
- скорость сварки $V_{св}$, м/с;
- скорость движения расплава в воздушном зазоре между мундштуком экструдера и материала V_p , м/с;
- количество присадочного материала, выходящего из экструдера в единицу времени a , кг/;
- количество присадочного материала, вносимого в зону шва q , кг/м;
- диаметр присадочного материала d , мм;

- расстояние между мундштуком экструдера и свариваемым материалом S , мм;
- температура присадочного материала, вносимого в зону шва T , °C.

Из перечисленных технологических параметров экструзионной сварки наиболее важными являются температура присадочного материала, сварочное давление и скорость сварки. Характер зависимости прочности сварных соединений от температуры присадочного материала для ПНД, ПВД и ПП толщиной 2...20 мм примерно одинаков.

Температура присадочного материала, при которой обеспечивается максимальная прочность соединения, зависит от величины сварочного давления. При малых давлениях (порядка 0,15...0,2 МПа) высокая прочность достигается при более высоких температурах присадочного материала (табл. 2.4). Однако для каждого термопласта характерен определенный интервал температур, обеспечивающих максимальную прочность сварного соединения: для ПВД — 210...280 °C; ПНД — 240...280 °C; ПП — 250...280 °C.

Таблица 2.4

Режимы экструзионной сварки для стыковых соединений толщиной стенки 3...30 мм с X-образной разделкой кромок

ПВД			ПНД			ПП		
Температура присадки T , °C	Сварочное давление $P_{св}$, МПа	Относительная прочность, %	Температура присадки T , °C	Сварочное давление $P_{св}$, МПа	Относительная прочность, %	Температура присадки T , °C	Сварочное давление $P_{св}$, МПа	Относительная прочность, %
195	0,6	98	210	0,6	85	225	0,8	90
210	0,4	100	220	0,4	89	240	0,6	95
230	0,2	100	240	0,2	95	250	0,4	98
260	0,1	100	260	0,1	95	260	0,2	98
280	0,05	98	270	0,05	95	270	0,1	98

Характерной особенностью процесса экструзионной сварки является то, что оптимальные режимы сварки не зависят от толщины свариваемого материала и с изменением ее от 2 до 30 мм остаются практически постоянными. В том числе постоянна и скорость сварки, если производительность применяемого оборудования обеспечивает такую возможность.

Относительная прочность сварных соединений, полученных экструзионной сваркой, составляет 90...100 % прочности свариваемого материала и несколько выше, чем в других известных способах сварки.

Технологический процесс контактно-экструзионной сварки характеризуется меньшим числом параметров, чем экструзионная сварка, однако основными технологическими параметрами этого способа сварки остаются также температура присадочного материала T_m , °C, сварочное давление $P_{св}$ и скорость сварки $V_{св}$.

При этом способе сварки соединения с максимальной прочностью могут быть получены в широком интервале температур: для ПВД — 180...270 °C; ПНД — 200...270 °C; ПП — 210...270 °C.

Необходимо отметить, что при осуществлении сварки рассматриваемым способом скорость сварки играет более существенную роль, чем при экструзионной сварке.

Увеличение скорости сварки, особенно при низких температурах присадочного материала, снижает прочность соединения, при высоких температурах влияние скорости снижается.

По производительности процесса и прочности сварных соединений контактно-экструзионная сварка практически не отличается от экструзионной.

Сварные соединения, полученные при оптимальных режимах, имеют прочность 90...100 % прочности основного материала (табл. 2.5). Однако контактно-экструзионный способ сварки обеспечивает более стабильное качество сварных соединений при прочих равных условиях.

Преимуществом контактно-экструзионного способа сварки является также его низкая чувствительность к состоянию поверхности материала.

Таблица 2.5

Режимы контактно-экструзионной сварки для стыковых соединений толщиной 3...30 мм с X-образной разделкой кромок

ПВД				ПНД				ПП			
Температура припайки $T, ^\circ\text{C}$	Сварочное давление $P_{\text{св}}, \text{МПа}$	Относительная прочность, %	Скорость сварки, м/с	Температура припайки $T, ^\circ\text{C}$	Сварочное давление $P_{\text{св}}, \text{МПа}$	Относительная прочность, %	Скорость сварки, м/с	Температура припайки $T, ^\circ\text{C}$	Сварочное давление $P_{\text{св}}, \text{МПа}$	Относительная прочность, %	Скорость сварки, м/с
180	0,65	95	$1,6 \cdot 10^{-2}$	200	0,4	95	$1,6 \cdot 10^{-3}$	210	0,7	90	$1,6 \cdot 10^{-3}$
190	0,65	100	$5 \cdot 10^{-2}$	220	0,4	95	$5 \cdot 10^{-2}$	220	0,7	92	$1,6 \cdot 10^{-3}$
210	0,12	100	$5 \cdot 10^{-2}$	230	0,2	95	$5 \cdot 10^{-2}$	240	0,4	95	$5 \cdot 10^{-2}$
230	0,08	100	$5 \cdot 10^{-2}$	250	0,1	95	$5 \cdot 10^{-2}$	250	0,2	98	$5 \cdot 10^{-2}$
250	0,07	100	$5 \cdot 10^{-2}$	270	0,05	92	$5 \cdot 10^{-2}$	270	0,12	95	$5 \cdot 10^{-2}$
270	0,03	100	$5 \cdot 10^{-2}$	—	—	—	—	—	—	—	—

Для соединения материалов со сравнительно узким интервалом вязкотекучего состояния (например, пентапласта) не представляется возможным использовать экструзионную или контактно-экструзионную сварку, требующую нагрева присадочного материала до температуры, превышающей температуру текучести полимера на 40...80 °С. В этом случае применяют предварительный подогрев свариваемых кромок газом-теплоносителем. Процесс сварки осуществляется следующим образом: вначале свариваемые кромки подогревают газом-теплоносителем до температуры текучести, затем теплотой мундштука экструдера, после чего разделку заполняют присадочным материалом. Для сварки пентапласта температура газа-теплоносителя должна составлять 220...230 °С, температура присадочного материала может всего на 20...30 °С превышать температуру плавления пентапласта. Относительная прочность сварных соединений составляет при этом 80...100 % прочности основного материала.

2.10. ДРУГИЕ СПОСОБЫ СВАРКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.10.1. Сварка пластмасс трением

Сварка пластмасс трением основана на нагреве соединяемых поверхностей за счет превращения механической энергии трения в теплоту. Поскольку пластмассы обладают низкой теплопроводностью, от зоны контакта деталей, подвергающихся трению, отводится незначительное количество тепла и поэтому их нагрев происходит достаточно быстро. Используют сварку трением путем вращения соединяемых деталей и сварку вибротрением — путем совершения колебательных движений.

За счет выделяющейся при трении теплоты, пластмасса переходит в вязкотекучее состояние. Под воздействием прикладываемого при этом усилия часть расплава вытекает в процессе трения (оплавления) свариваемых деталей. При создании в стыке необходимого количества расплава процесс трения прекращается, детали сжимаются (осаживание), в результате чего получается неразъемное соединение.

Сварку трением вращения применяют в основном при соединении деталей, имеющих форму тел вращения (рис. 2.39). Вибротрением

можно сваривать несимметричные детали практически любой конфигурации.

Сварка вращением может производиться при непосредственном контакте стыкуемых деталей вращением одной из них (рис. 2.39, *а*), вращением обеих, а также вращением специальной вставки между свариваемыми деталями (рис. 2.39, *б*). В этом случае вставка должна быть из того же материала, что и свариваемые детали, а конструкция будет иметь два сварных шва. В этом случае вставка должна быть из того же материала, что и свариваемые детали, а конструкция будет иметь два сварных шва.

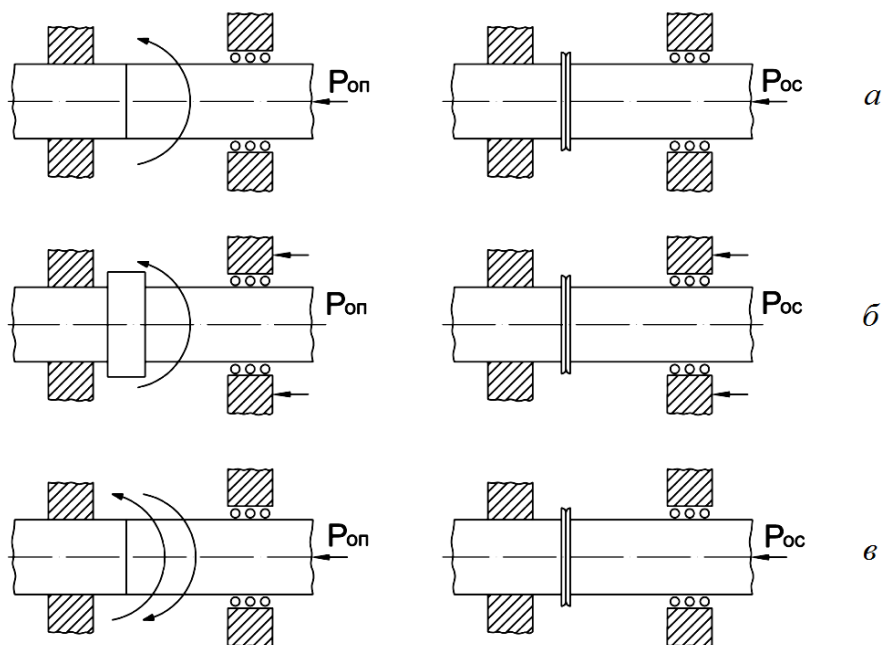


Рис. 2.39. Схема сварки трением:

а — сварка вращением одной из стыкуемых деталей; *б* — сварка вращением вставки;
в — сварка вибротрением

Наибольшее практическое применение нашел способ сварки вращением, при котором одна из свариваемых деталей неподвижна. Пре-

имущество этого способа состоит в том, что при трении в месте контакта разрушаются все поверхностные ингредиенты, образовавшиеся до начала сварки. В процессе сварки расплав защищен от влияния атмосферы, чем исключается окисление макромолекул кислородом воздуха.

Сварка трением обладает рядом важных преимуществ:

- высокая производительность;
- малое потребление энергии и мощности;
- высокое качество сварного соединения;
- стабильность качества;
- возможность сварки разнородных полимеров;
- гигиеничность процесса.

Основные параметры при сварке вращением: частота вращения (число оборотов в единицу времени); усилие прижатия деталей в процессе трения (усилие оплавления); время трения (время нагрева) и усилие осадки.

Сваркой трением могут соединяться полиолефины, полиамиды, винилпласты, полиметилметакрилат, полиоксиметилен и другие термопласты, если детали не теряют своей формы при зажиме в патронах и оправках устройств, а также при осадке. При непосредственном контакте свариваемых деталей скорости вращения составляют 0,16...3 м/с (табл. 2.6).

При сварке вращающейся и удаляемой вставкой скорость вращения вставки составляет 8,5...10 м/с. При вибросварке скорость вращения обычно составляет 0,15...4 м/с, частота — 100 Гц, амплитуда — 0,5...5 мм. Длительность процесса сварки зависит от материала, прикладываемого давления, а также скорости вращения и составляет 10...180 с.

Толщина слоя, переходящего в вязкотекучее состояние свариваемых трением деталей, обычно невелика, в связи с этим ее остывание происходит достаточно быстро. Поэтому во избежание разрушения по зоне сварки или образования в шве надрывов, необходимо избегать проскальзывания соединяемых деталей в процессе их осадки после оплавления. Следовательно, необходимо строгое ограничение времени

торможения по окончании оплавления. После осадки сварное соединение должно охлаждаться под давлением в течение не менее 10...15 мин.

Таблица 2.6

**Параметры режимов сварки пластмасс трением вращения
при непосредственном контакте**

Материал	Стыковое соединение	Скорость вращения, м/с	Давление, МПа	
			осадки	оплавления
Винипласт	С прямыми кромками	1,6...2,5	0,3...0,8	0,35...0,5
	С косыми кромками (в ус)	1,6...2,5	0,2...0,5	0,15...0,2
ПНД	С прямыми кромками	1,5...3	0,2...0,5	0,15...0,2
	С вытачкой в кромке	1,5...3	0,2...0,5	0,15...0,2
ПВД	Сплошные прутки	1,5...2,17	0,15...0,3	0,05...0,1
	С вытачкой в кромке	1,5...2,17	0,15...0,3	0,05...0,1
ПП	Сплошные прутки	1,8...3	0,2...0,5	0,15...0,2
	С вытачкой в кромке	1,5...3	0,2...0,5	0,15...0,2
Полиамиды	С вытачкой в кромке	1,5...2,17	0,15...0,25	0,15...0,25

2.10.2. Сварка излучением

Сварка пластмасс излучением основана на способности пластмасс поглощать лучистую энергию и за счет этого нагреваться. В результате поверхностные слои деталей из термопластов переходят в вязкотекучее состояние и после приложения необходимого давления свариваются.

В соответствии с видом источника энергии и характера генерируемого им излучения различают следующие способы сварки:

- сварка инфракрасным излучением (ИК);
- сварка светом видимого диапазона (СВД);
- сварка лазером (оптическим квантовым генератором).

Особенностью *сварки ИК-излучением* является отсутствие непосредственного контакта нагревательного инструмента (излучателя) с нагреваемой поверхностью, что исключает необходимость применения мер по предупреждению адгезии расплава к нагревателям.

При нагреве поверхностей деталей не происходит принудительного вытеснения расплава в первичный грат. При сварке пленок не образуется так называемый подрез по границе шва, возникающий при контактной сварке нагретым роликом или ползуном.

Процесс нагрева ИК-излучением легко регулируется в широком диапазоне путем изменения мощности лучистого потока (температуры нагрева излучателя) и расстояния до облучаемых деталей.

Конструкция сварных соединений и схема их сварки излучением взаимосвязаны. Основным типом соединения пленок является нахлесточное и реже Т-образное.

Листы, трубы, прутки и другие изделия свариваются встык. Обязательным условием для получения качественного соединения является равенство сечений в соединении (как по толщине, так и по ширине).

Для пленок наиболее рациональна следующая схема сварки: сборка внахлестку и облучение снаружи (рис. 2.40, *а, е*). При этом энергия излучения частично поглощается подложкой, которая становится дополнительным нагревателем.

При одностороннем нагреве пленки (рис. 2.40, *а*) толщина свариваемого пакета пленок ограничена.

Например, при использовании в качестве источника нагрева силицевого стержня с температурой 1200 °С, расположенного на расстоянии 12 мм от свариваемых поверхностей (подложка из черной микропористой резины), предельная толщина свариваемого пакета пленки из ПВД может быть не более 2 мм.

При сварке световым лучом используют схему прямого (рис. 2.40, *в*) или косвенного (рис. 2.40, *з*) облучения. При укладке полимера на пол для получения стыкового соединения используют схему сварки с технологическим зазором (рис. 2.40, *б*).

Сварка в этом случае ведется либо без присадки, либо с присадкой. В последнем случае присадочный пруток также нагревают специальным излучателем с обязательной последующей прокаткой роликом в технологическом зазоре или в разделке.

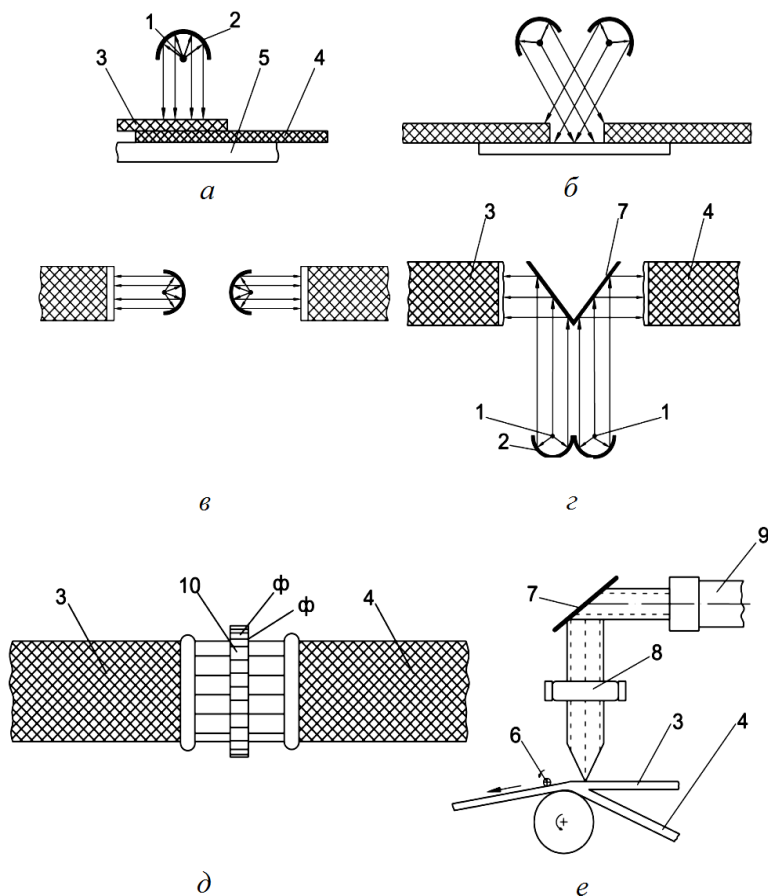


Рис. 2.40. Схемы сварки излучением:

a, e — сварка пленки внахлестку проплавлением; *б* — листов полимеров встык с зазором при одностороннем нагреве; *в, г, д* — деталей встык при нагреве свариваемых торцов; 1 — источник света; 2 — экран (рефлектор); 3, 4 — свариваемые детали; 5 — подложка; 6 — прижимной ролик; 7 — отклоняющее луч зеркало; 8 — фокусирующая линза; 9 — выходной тубус лазера; 10 — ИК-излучатель

При сварке труб и фигурных изделий чаще всего используют металлические ИК-излучатели. Расстояние от излучателя до нагреваемой поверхности определяется в основном геометрическими параметрами излучателей и равномерностью потока от рабочей поверхности до излучателя (рис. 2.40, д). Как правило, этот зазор составляет не менее 10 мм. При сварке с использованием энергии светового, инфракрасного, лазерного излучения нагрев свариваемой поверхности происходит без механического воздействия. Поэтому деформации, а также течение расплавленной пластмассы могут возникать лишь в результате нагрева. Хотя деформации носят местный характер, их следует учитывать при выборе схемы сборки и сварки изделия.

2.10.3. Сварка током высокой частоты

Сварка током высокой частоты (ТВЧ) или высокочастотная сварка полимерных материалов осуществляется за счет разогрева материала в результате поглощения им энергии электрического поля. При сварке ТВЧ материал находится между металлическими электродами, образуя конденсатор, подключенный к источнику высокочастотной электрической энергии. Под действием электрического поля материал-диэлектрик поляризуется. В случае переменного электрического поля в диэлектрике происходит переменная поляризация, сопровождающаяся смещением заряженных частиц, входящих в атомы и молекулы вещества.

Движение частиц в диэлектрике происходит с трением, а электрическое поле затрачивает свою энергию на его преодоление. Большинство пластмасс, помещенных в переменное электрическое поле, имеет некоторую проводимость. Ток проводимости в диэлектриках совпадает во времени с напряженностью электрического поля. Таким образом, нагрев реальных диэлектриков определяется суммой токов проводимости и поляризации.

Согласно ГОСТ 21139–87 для сварки ТВЧ полимерных материалов можно использовать только строго определенные частоты: 13,56 МГц $\pm$ $\pm$ 0,05 %, 27,12 МГц $\pm$ 0,6 %; 40,68 МГц $\pm$ 0,05 %; 81,36 МГц $\pm$ 1 %. Оборудование для сварки ТВЧ нужно выбирать в соответствии с данными требованиями. Сварка ТВЧ полимеров подразделяется на прессо-

вую и роликовую. Прессовая сварка ТВЧ обеспечивает получение за один сварочный цикл соединений, повторяющих размеры и конфигурацию рабочей поверхности электродов. Роликовой сваркой ТВЧ могут свариваться непрерывные швы различной конфигурации. Сварку выполняют двумя вращающимися роликами, которые служат одновременно электродами и средством перемещения материала. Большое рассеивание энергии при этом виде сварки требует повышенного напряжения на электродах, которое может быть предельным для данного материала. Это приводит к частым пробоям, а также создает значительные технические трудности по экранизации сварного узла для защиты персонала от воздействия электрического поля. В силу этих причин оборудование для роликовой сварки ТВЧ в нашей стране не выпускают.

Прессовую сварку протяжных нахлесточных швов и швов, имеющих кривизну в нескольких плоскостях, выполняют шаговым методом линейными электродами. Для Т-образных замкнутых швов и декоративного тиснения материала используют контурные электроды.

Основные параметры сварки ТВЧ: напряженность электрического поля в материале; давление электродов на свариваемый материал; время нагрева материала. Все перечисленные параметры определяют температуру и ее распределение в свариваемом материале, от чего в основном и зависит качество сварного соединения.

Учитывая отсутствие методов неразрушающего контроля сварных соединений, выполненных этим методом сварки, измерение и стабилизация основных параметров являются единственным и возможным средством получения соединения с заданным качеством.

В СССР был разработан способ сварки полимеров на сверхвысоких частотах (СВЧ). Для технологических целей в диапазоне СВЧ выделены частоты: $915 \text{ МГц} \pm 2 \%$; $2375 \text{ МГц} \pm 2 \%$ и $2450 \text{ МГц} \pm 2 \%$. Применение СВЧ позволяет производить сварку при тех же значениях удельной мощности, но при значительно меньшей напряженности электрического поля в материале. Процесс превосходит по производительности сварку ТВЧ, так как исключается промазывание соединяемых поверхностей, что необходимо для сварки ряда фторопластов.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ

3.1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ВРАСТРУБ

Оборудование для раструбной сварки используется при температуре окружающего воздуха от 0 до +35 °С для сварки труб диаметром от 16 до 140 мм. Сварочная машина состоит из:

- центратора с зажимами (вкладышами);
- торцевателей;
- нагревательного инструмента;
- комплекта гиль и дорнов (на каждый диаметр);
- блока управления.

Нагревательный инструмент, применяемый для раструбной и раструбно-стыковой сварки (рис. 3.1), изготавливают из сплавов алюминия, нержавеющей стали или стали, покрытой слоем никеля. Он может иметь плоскую форму, при этом к нему привинчиваются сменные гильзы и дорн. Температуру электронагревательного инструмента поддерживают автоматически с точностью до ± 10 °С.

Очистку рабочих поверхностей нагревательного инструмента производят после каждой сварки с помощью алюминиевых или деревянных скребков, после чего протирают плотной тканью.

Если нагрев инструмента осуществляется открытым пламенем паяльной лампы или газовой горелки, очистка производится путем выжигания налипшего материала. Открытым пламенем инструмент нагревается до температуры, несколько большей, чем температура сварки, по мере остывания инструмента температура его поверхности выравнивается, контроль температуры осуществляется термокарандашом.

При раструбно-стыковой сварке в нагревательном инструменте между диском и гильзой существует зазор, через который можно наблюдать процесс оплавления торца трубы, а дорн инструмента имеет наружную фаску, которая исключает возможность попадания излишков оплавленного полиэтилена на торец дорна.

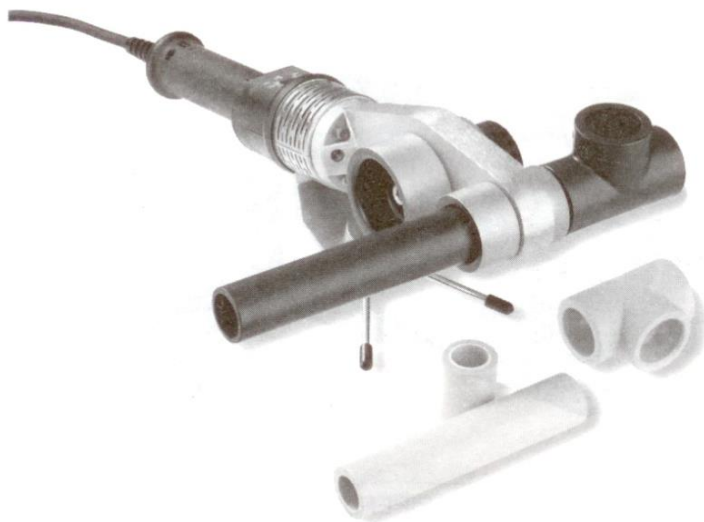


Рис. 3.1. Сварочный аппарат для сварки труб вразруб от 16 до 63 мм «Ровелд Р63-3Set» производства фирмы «ROTHENBERGER» (Германия), мощность 800Вт, 230 В.

3.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СТЫКОВОЙ СВАРКИ

Оборудование для стыковой сварки используется при температуре окружающего воздуха от -15°C до $+40^{\circ}\text{C}$, и должно по возможности не требовать постоянного технического обслуживания, за исключением ежедневного сервисного осмотра. Стыковая сварка применяется для соединения труб и деталей диаметром от 63 до 800 мм, за рубежом имеется сварочная техника для труб диаметром до 1600 мм. В России наибольшее распространение получили машины фирм «FUSION», «GEORG FISCHER», «ROTHENBERGER», «J.SAURON.S.A.», «WIDOS».

Сварочная машина «PIPEFUSE» фирмы «J.SAURON.S.A.» (Франция) с ручным управлением предназначена для стыковой сварки труб диаметром от 160 до 225 мм. Существуют модификации для сварки труб диаметром до 500 мм (рис. 3.2).

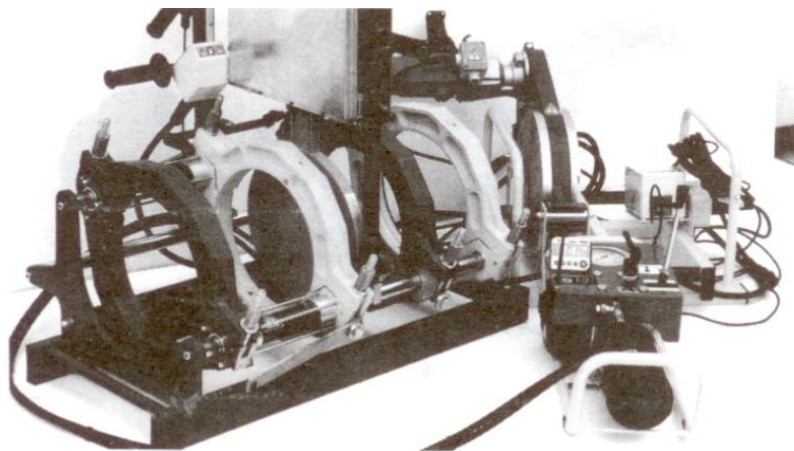


Рис. 3.2. Сварочная машина «PIPEFUSE» фирмы «J.SAURON.S.A.»

Сварочная машина «PIPEFUSE» фирмы «J.SAURON.S.A.» с ручным управлением и тельфером предназначена для стыковой сварки труб диаметром от 630 до 1600 мм (рис. 3.3).

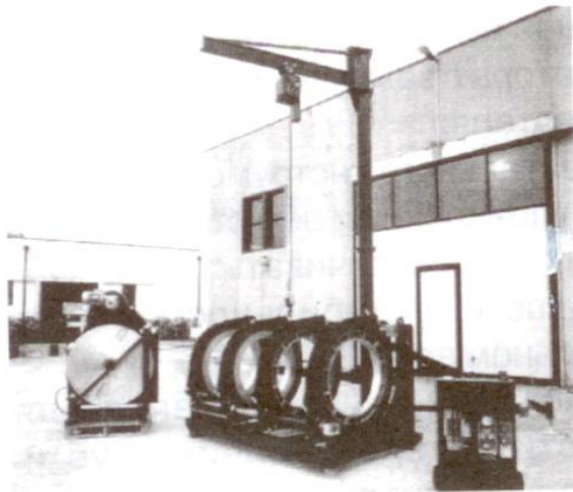


Рис. 3.3. Сварочная машина «PIPEFUSE» фирмы «J.SAURON.S.A.»

Совмещенная сварочная машина «PLASTIFUSE» фирмы «J.SAURON.S.A.» с высокой степенью автоматизации предназначена для стыковой сварки труб диаметром от 63 до 225 мм и более (рис. 3.4).

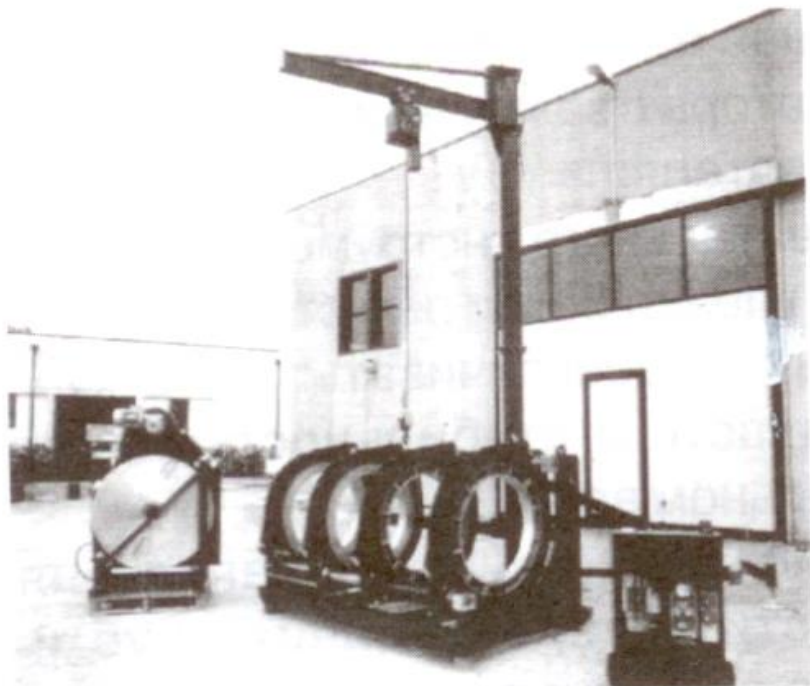


Рис. 3.4. Совмещенная сварочная машина «PLASTIFUSE» фирмы «J.SAURON.S.A.»

В качестве электронного блока управления в ней используется аппарат «BARBARA», предназначенный для сварки труб при помощи деталей ЗН. Таким образом, в зависимости от условий строительства на этой машине можно сваривать трубы встык или при помощи деталей с ЗН. Сварочная машина состоит из:

- центра с зажимами (вкладышами);
- торцевателя;
- нагревательного инструмента;
- блока управления и регистрации.

Центратор должен обеспечивать:

- жесткость и стабильность конструкции при минимальном весе;
- возможность выравнивания для создания соосности и перемещения труб и фитингов относительно друг друга;
- возможность удаления из траншеи без повреждения полиэтиленовой трубы.

Он имеет минимум два зажима: один фиксированный и один подвижный для установки полиэтиленовых труб при сварке, а также устройство для поддержки нагревателя и торцевателя.

Зажимы и вкладыши должны охватывать трубы или фитинги, быть симметричными по форме, плоскими или перпендикулярными к осевой линии, а также быть сконструированы так, чтобы трубы или фитинги можно было быстро устанавливать или удалять без повреждения их поверхностей.

Зажимные приспособления должны иметь такую конструкцию, чтобы у них не было возможности сблизиться на расстояние менее установленного. Вкладыши позволяют использовать разные типоразмеры труб.

Торцеватель представляет собой продольно-строгательный инструмент, который при вращении подготавливает для нагрева чистые и плоские, параллельно сопряженные поверхности концов труб или фитингов. Конструкция торцовочного ножа должна обеспечивать отклонение образующейся стружки от обрабатываемой поверхности, чтобы оператор мог определить завершение процесса строгания. Строгательный нож должен работать под прямым углом к обрабатываемой поверхности, создавая гладкий срез. Обработка поверхности ведется одновременно на обеих сторонах торцевателя.

Нагревательный инструмент должен создавать условия для расплавления концов труб и фитингов при подготовке их к сварке и быть снабжен системой контроля температуры. Система контроля обеспечивает регулировку температуры контактной поверхности в пределах $\pm 7^\circ\text{C}$ от требуемой температуры в диапазоне $170...260^\circ\text{C}$, при температуре окружающего воздуха от -15°C до $+40^\circ\text{C}$. Нагревательный инструмент удаляется из зоны сварки вручную или с помощью приспособлений, являющихся частью сварочной машины. Полная тепловая

мощность нагревательного инструмента должна быть такова, чтобы ее хватило до полного окончания процесса расплавления концов труб или фитингов, если подача электроэнергии по какой-то причине в это время прекратилась.

Если нагревательный инструмент не отвечает этим требованиям, то на сварочной машине должен быть предусмотрен аварийный сигнал, указывающий на отключение тока. Нагреватель изготавливается из материалов, имеющих хорошую теплопроводность.

Поверхности инструмента, контактирующие с трубой или фитингами, делаются такими, чтобы расплавленный материал не прилипал к ним и чтобы их можно было очистить без повреждений. Цвет покрытия подбирается таким, чтобы на пластине были заметны любые следы полиэтилена.

Блок управления и регистрации. В зависимости от степени автоматизации с помощью этого блока ведется управление и контроль соблюдения основных параметров стыковой сварки, а также последовательности процесса. Значения параметров при выполнении каждого соединения регистрируются (рис. 3.5).

В записи указывается дата, диаметр трубы, толщина стенки или SDR, материал трубы, порядковый номер соединения, номер клейма сварщика и технологические параметры выполненной сварки. Система должна приостановить рабочий процесс, когда возникают непредусмотренные условия и указать (вероятную) причину этого.

Сварочная машина «WIDOS 4900» (рис. 3.5) предназначена для сварки встык полиэтиленовых, полипропиленовых и полибутиленовых труб и фитингов диаметром от 90 до 315 мм (как на стройплощадке, так и в траншее).

Машина может быть дополнительно оснащена прибором СПА для протоколирования сварочных параметров, с распечаткой протоколов на русском языке (см на рис. 3.6. пример распечатки на сварочной машине фирмы «ROTENBERG»). Прибор крепится на раме гидравлического агрегата двумя болтами и устанавливается только в случае необходимости контроля сварочного шва.

Сварочная машина «WIDOS HRG 8/10/12/16» (рис. 3.7) предназначена для сварки встык полиэтиленовых, полипропиленовых и полибутеновых труб и фитингов большого диаметра — от 710 до 1600 мм, с возможностью варить отводы в полевых условиях.

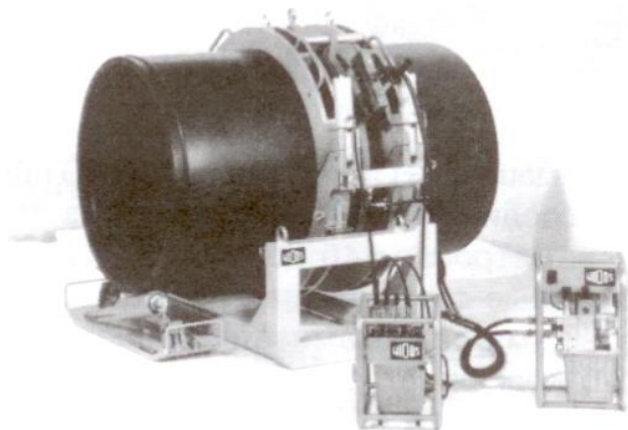


Рис. 3.7. Сварочная машина «WIDOS HRG 8/10/12/16»

Машины для стыковой сварки и прилагаемые компоненты должны быть промаркированы несмываемыми красками на всех необходимых частях с указанием:

- бирки изготовителя;
- типа машины;
- используемого электропитания (напряжения на входе и потребления электроэнергии);
- серийного номера;
- диапазона трубных диаметров и SDR, для которых предназначена машина.

При помощи сварочных машин +GF+ фирмы «GEORG FISCHER» (рис. 3.8) можно соединять трубы и фитинги из полиэтилена и полипропилена диаметром от 40 до 1400 мм. Гидравлические операционные стыковые сварочные машины состоят из крепкого основания с четырьмя зажимами под углом 45°. Любая сварочная машина +GF+ может быть доукомплектована записывающим устройством «SUVI®50».

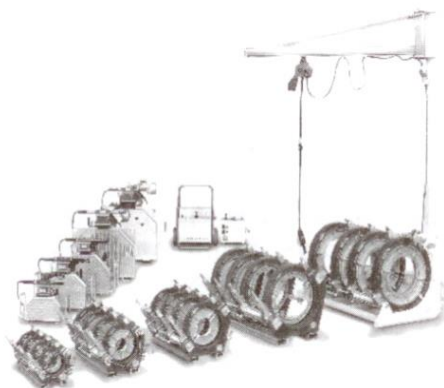


Рис. 3.8. Сварочные машины +GF+ фирмы «GEORG FISCHER»

Весь порядок сварки записывается, последовательность операций может быть впоследствии восстановлена. Пользователь имеет возможность проследить последовательность сварочного процесса и распечатать протокол.

Сварочные машина GF 160-CNC, GF 315-CNC, GF 500-CNC и GF 630-CNC фирмы «GEORG FISCHER» (рис. 3.9) разработаны для газо-, водоснабжения, канализации и сваривают трубы диаметром от 40 до 630 мм. Блок управления русифицирован.

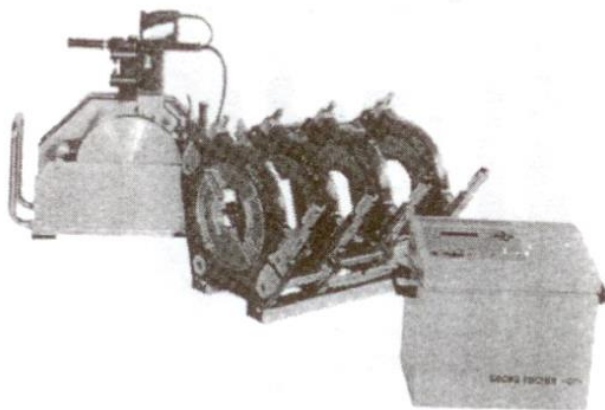


Рис. 3.9. Сварочные машины GF 160-CNC, GF 315-CNC, GF 500-CNC и GF 630-CNC фирмы «GEORG FISCHER»

Для изготовления соединительных деталей стыковым способом применяются стационарные установки, имеющие зажимы центратора сложной конфигурации, позволяющие вести сварку под углом.

3.3. АППАРАТЫ ДЛЯ СВАРКИ ПРИ ПОМОЩИ ДЕТАЛЕЙ С ЗАКЛАДНЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ

Аппараты для сварки полиэтиленовых труб диаметром от 16 до 710 мм при помощи деталей с закладными нагревателями используются при температурах наружного воздуха от -15°C до $+35^{\circ}\text{C}$. В них вводятся параметры сварки (напряжение или сила тока и время, или энергия), необходимые для выполнения цикла сварки в режимах, установленных производителем электросварного фитинга. Процесс сварки по заданным параметрам происходит автоматически. Например, это сварочный аппарат «JULIE 123» фирмы «J.SAURON.S.A.», предназначенный для сварки при помощи деталей с ЗН в диапазоне от 20 до 630 мм, в следующих режимах: штрих – код, RAR и/или ручным. Вес аппарата составляет 7,5 кг (рис. 3.10).

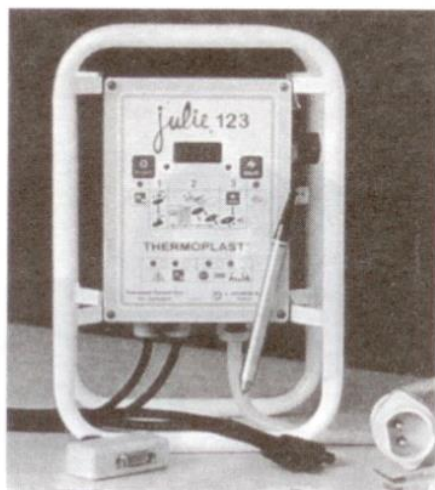


Рис. 3.10. Сварочный аппарат «JULIE 123» фирмы «J.SAURON.S.A.»

Конструктивное разнообразие соединительных деталей с ЗН позволяет группировать сварочные аппараты по двум направлениям.

1. По электрическим характеристикам аппараты подразделяются:

1) по входному напряжению — на два класса:

- аппараты с низким безопасным напряжением от 0 до 50 В (P_1);
- аппараты с низким напряжением от 50 до 240 В (P_2);

2) по выходному напряжению — на три класса:

- аппараты с низким безопасным напряжением от 8 до 42 В (S_1);
- аппараты с низким напряжением от 8 до 42 В (S_2);
- аппараты с низким напряжением от 8 до 200 В (S_3).

2. По характеристикам процесса аппараты подразделяются на:

- специализированные (ПРЕСЕТ) — аппараты с предварительно установленными параметрами, т.е. предназначенные для сварки в определенном режиме. Производителем аппарата предварительно устанавливается ступенчатая выходная мощность, которая производится на одном или нескольких регулируемых уровнях напряжения, силы тока, энергии или времени. Выходные значения одного отдельно взятого параметра предварительно установлены и являются постоянной величиной (F);

- аппараты с изменяемыми параметрами — сварочные аппараты, подающие ступенчатую выходную мощность, которая производится исходя из изменяемых параметров, получаемых из внешнего источника (штрих-код, магнитная карта и т.д.) и заложенных производителем электросварных фитингов (V);

- мультимод-аппараты, подающие ступенчатую выходную мощность, которая производится на нескольких уровнях напряжения и силы тока, и обеспечивающие необходимую входную энергию фитингам разных производителей в рамках спецификации каждой системы, используя при этом по крайней мере одну предварительно установленную систему в сочетании с системой изменяемых параметров. У некоторых производителей выходные значения одного отдельно взятого параметра аппарата (напряжение U , сила тока I , энергия E и время) предварительно установлены и являются постоянными величинами в сочетании с изменяемыми параметрами сварки;

- поливалентные — аппараты, подающие постоянную и плавно возрастающую выходную мощность, которая производится на некоторых регулируемых уровнях напряжения и силы тока W . Может использоваться с электросварными фитингами разных производителей;

- универсальные — аппараты, подающие постоянную и плавно возрастающую выходную мощность, которая производится на нескольких регулируемых уровнях напряжения и силы тока, исходя из системы изменяемых параметров. Сварочный аппарат регулирует напряжение и силу тока в зависимости от параметров сварки, автоматически введенных из внешнего источника и заложенных производителем электро-сварных фитингов.

Латинские буквы в скобках означают соответствующие буквы-коды, по которым можно расшифровать классификацию сварочного аппарата. По выходной мощности аппараты классифицируются следующими цифрами:

- 1-0 кВа J 1кВт;
- 2-1 кВа J 2кВт;
- 3-2 кВа J 3кВт;
- 4-3 кВа J 4кВт;
- 5-4 кВа J 5кВт.

Данные в аппарат могут вводиться вручную (К) и автоматически (А). Возможность протоколирования процесса сварки определяется буквой D. Возможность использования фитингов разных производителей определяется по типу аппарата:

- 1) моновалентный (М);
- 2) поливалентный (Х).

Таким образом, по маркировке можно определить технические возможности данного аппарата.

Питающий (входной) кабель должен быть длиной не менее 3 м, а подводящий электрический ток к фитингу не менее 2,5 м. Кабели должны сохранять гибкость при нормальных условиях работы или хранения (например, от -10°C до $+40^{\circ}\text{C}$). Кабельные разъемы должны обеспечивать легкое подсоединение кабелей и исключать прямой контакт с оператором во время сварочного цикла.

Сварочный аппарат «FRIAMAT» фирмы «FRIATEC AG» (рис. 3.11) предназначен для сварки труб при помощи деталей с ЗН в диапазоне диаметров от 20 до 710 мм, при температуре наружного воздуха от -20°C до $+50^{\circ}\text{C}$, вес — 19 кг, поставляется в транспортировочном контейнере из металла легкого сплава. В комплект со сварочным аппаратом входят: ротационное устройство для снятия оксидного слоя с поверхности трубы, одновременно компенсируя неравномерность толщины стенки трубы; устройство для ликвидации овальности

трубы, устройство для дистанционного управления аппаратом; интерфейс блока сбора данных.



Рис. 3.11. Сварочный аппарат «FRIAMAT» фирмы «FRIATEC AG»

Блок управления имеет:

- выключатель, кнопку начала процесса сварки, а также кнопку прерывания процесса сварки в случае обнаружения ошибки;
- дисплей, на котором информация должна быть четко видна в солнечную погоду, а также в условиях ограниченной видимости;
- температурный датчик, измеряющий температуру окружающей среды с погрешностью 1 °С, защищенный от механических воздействий и не испытывающий воздействия теплоты при нагревании самого блока управления;
- устройство для считывания данных (например, штрих-кода или магнитной карты) или автоматического ввода параметров сварки в соответствии с заложенной программой для считывания данных (например, режима саморегулирования). После начала сварки введение или изменение параметров сварки должно быть невозможно;
- блок сбора данных, состоящий из памяти для сохранения параметров (минимум на 250 циклов сварки) и интерфейса для их передачи, а также позволяющий восстанавливать или запоминать параметры фитингов и сварочных циклов. Для облегчения передачи данных ис-

пользуется встроенный режим. Память должна быть защищена от потери данных, и при ее переполнении должны стираться наиболее старые данные. Блок сбора данных не должен работать, если отключена память. Данные о прохождении сварочного цикла должны записываться постоянно в течение всего цикла сварки. В случае прерывания цикла текущие данные должны быть доступны для осуществления контроля.

Когда контрольная система проверяет соответствие входного напряжения и частоты допустимому диапазону аппарата, последовательность проведения контроля должна выводиться на дисплей. Если измеряемая величина больше допустимой, сварочный аппарат подает звуковой или визуальный сигнал предостережения, а на дисплее указывается источник ошибки.

Сварочный аппарат «MSA 400» ФИРМЫ «GEORG FISCHER» (рис. 3.12) предназначен для сварки труб при помощи деталей с ЗН в диапазоне диаметров от 20 до 630 мм, при температуре наружного воздуха от -20°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Его вес составляет 11,5 кг. Это один из самых легких аппаратов, что обеспечивает удобство при транспортировке и работе. Он обладает наивысшим типом пыли- и влагозащиты, корпус защищен от ударов при помощи подвески на устойчивой алюминиевой раме.



Рис. 3.12. Сварочный аппарат «MSA 400» ФИРМЫ «GEORG FISCHER»

Аппараты с ручным вводом параметров должны предусматривать минимальный объем памяти на 6 комбинаций параметров сварки, с информацией о производителе, типе, размере фитинга и т.д.

Сварочные аппараты, имеющие систему автоматического ввода данных должны считывать информацию, имеющуюся на фитинге, с выводом данных на дисплей для того, чтобы оператор мог сверить информацию на дисплее с информацией на подключенном фитинге.

Если введенные параметры не соответствуют указанным на подсоединенном фитинге, то блок контроля закрывает программу сварки и выдает отрицательный сигнал. Если какая-нибудь из частей введенной программы сварки не может быть выполнена сварочным аппаратом, цикл сварки не начинается и на дисплее высвечивается причина этого.

После вывода данных на экран оператор должен подтвердить введенную операцию вручную. Это можно сделать либо нажатием клавиши «Старт», либо другим способом, предусмотренным конструкцией аппарата.

Во время сварочного цикла на экране должна отражаться вся информация о прохождении цикла (в частности, о затратах времени и энергии). В случае прерывания цикла или наличия какой-либо ошибки сварочный аппарат должен показать на дисплее причину или закодированное сообщение.

После окончания сварочного цикла делается распечатка сварочного процесса.

3.4. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭКСТРУЗИОННОЙ СВАРКИ

Оборудование для экструзионной сварки применяется для изготовления соединительных деталей и соединения труб диаметром более 700 мм. Оно может быть передвижным и стационарным, без предварительного подогрева соединяемых поверхностей и с таким подогревом, а также с уплотнением экструданта сразу после его укладки в шов. Наиболее распространенные аппараты — с использованием присадочного прутка. Они включают в себя: нагреватель присадочного прутка, нагреватель газообразного теплоносителя (для нагрева соединяемых поверхностей), прижимной ролик (для уплотнения экструданта), направляющую втулку и тянущий ролик (для равномерной подачи прутка в нагревательное устройство). С помощью пульта управления можно регулировать температуру и подачу газа-теплоносителя, а также присадочного прутка (в зависимости от требуемых параметров). Процесс сварки происходит в ручном режиме. Свариваемые трубы или детали на период сварки должны быть взаимно зафиксированы.

Экструдер «6000С» фирмы «DOHLE» (Германия) (рис. 3.13) предназначен для сварки полиэтиленовых труб, листов и нестандартных изделий из полимеров путем нагрева гранулированного материала (сырья).

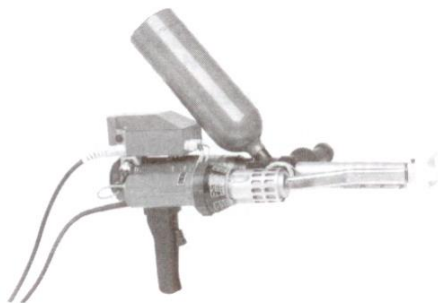


Рис. 3.13. Экструдер «6000С» фирмы «DOHLE» (Германия)

Экструдер «1500С» фирмы «DOHLE» (Германия) (рис. 3.14) предназначен для сварки полиэтиленовых труб и листов любой толщины с помощью прутка.

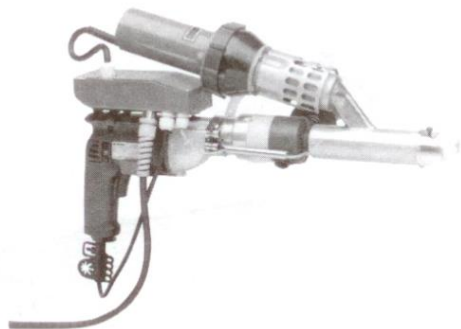


Рис. 3.14. Экструдер «1500С» фирмы «DOHLE» (Германия)

3.5. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Позиционер — механический инструмент, необходимый для блокировки и выравнивания труб при сварке труб с помощью деталей с закладными нагревателями. Конструкции позиционеров разнообразны и многофункциональны:

1) два зажима, закрепленных на одном прямолинейном держателе, служат для сварки прямолинейных неискривленных труб (рис. 3.15, рис. 3.16);

2) четыре зажима и два выравнивателя, закрепленных на двух совмещенных держателях, служат для сварки изогнутых труб;

3) два или четыре кольцевых зажима, закрепленных на двух держателях, позволяют произвести сварку отводов или тройников. Держатели должны быть соединены под углом 90° ;

4) вспомогательный позиционер, который фиксирует полиэтиленовые трубы с патрубком седлового отвода при их сварке друг с другом.

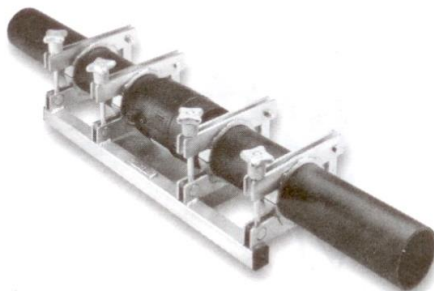


Рис. 3.15. Позиционер производства фирмы «ROTHENBERGER»
(для соединения труб диаметром от 32 до 225 мм)



Рис. 3.16. Позипласт производства фирмы «Sauro» (для обеспечения позиционирования и удержания на месте соединяемых труб при сварке)

Оправка торцовочная служит для обработки (зачистки и калибровки) поверхностного (оксидного) слоя полиэтилена на конце трубы перед сваркой с помощью деталей с закладными нагревателями (рис. 3.17).

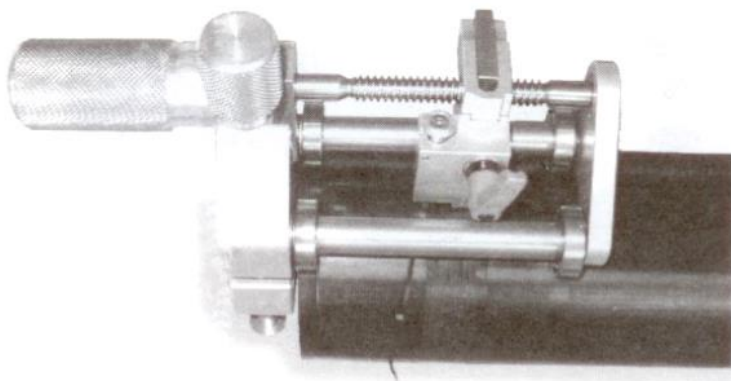


Рис. 3.17. Оправка торцовочная производства фирмы «ROTHENBERGER» (для механического снятия оксидного слоя труб диаметром от 32 до 500 мм)

Труборез (гильотинные или ручные ножницы) служит для обреза трубы перпендикулярно их оси. Ножницы можно применять для обрезки труб диаметром до 75 мм (рис. 3.18, 3.19).

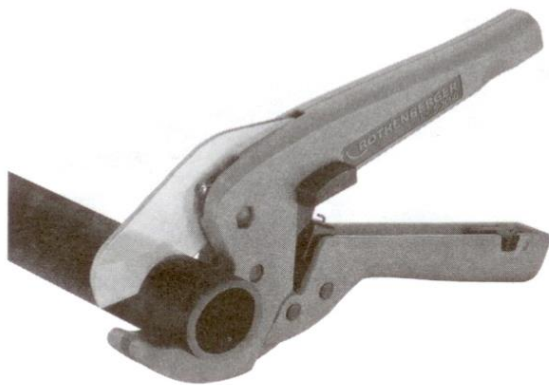


Рис. 3.18. Ножницы «ROCAT» производства фирмы «ROTHENBERGER»
(для легкой резки пластмассовых труб диаметром до 63 мм)

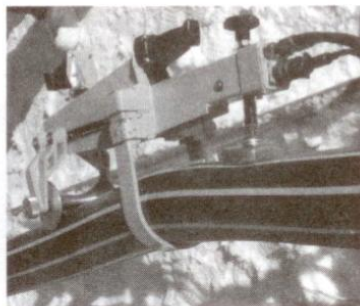


Рис. 3.19. Телескопический труборез производства фирмы
«ROTHENBERGER» (для резки пластмассовых труб диаметром
от 16 до 168 мм)

Выравниватель предназначен для калибровки (придания параллельности) концам труб в случае их естественной искривленности. Например, электрогидравлический инструмент «CROCOPLAST» производства фирмы «ROTHENBERGER» (рис. 3.20) предназначен для разгибания и устранения овальности концов полиэтиленовых труб диаметром от 63 до 160 мм, хранимых в бухтах или на катушках.



а



б

Рис. 3.20. Электрогидравлический инструмент «CROCOPLAST»:
а — в комплекте; *б* — в действии

Опорный ролик — вспомогательная принадлежность для опоры трубы, необходимая для сокращения до минимума трения и нагрузки тяги в процессе стыковой сварки или протяжки. Например, опорный ролик производства фирмы «ROTHENBERGER» служит для поддержки свободного конца трубы при сварке и для вытягивания труб при протяжке. Максимальный диаметр труб — до 1200 мм (рис. 3.21).

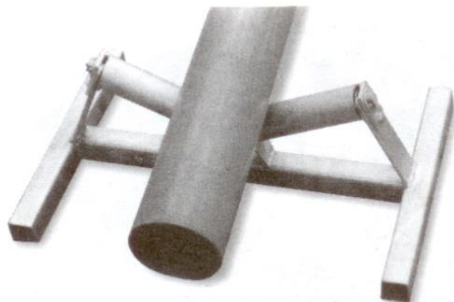


Рис. 3.21. Опорный ролик производства фирмы «ROTHENBERGER»

Тянущая головка — приспособление, вводимое внутрь трубы или надеваемое на трубу, для последующего прикрепления к тросу лебедки. Обеспечивает надежный контакт с тросом лебедки при протягивании трубы через футляр, каркас трубопровода или буровой канал (рис. 3.22).



Рис. 3.22. Тянущая головка производства фирмы «J.SAURON.S.A.» в процессе применения

Лебедка обеспечивает протяжку трубы через футляр, каркас трубопровода или буровой канал с регулированием скорости протяжки и блокировкой при превышении заданных усилий протяжки.

Видеокамера позволяет осмотреть внутреннюю поверхность трубопровода (рис. 3.23).



Рис. 3.23. Видеокамера «ROCAM» производства фирмы «ROTHENBERGER» (для инспекционного контроля трубопроводов диаметром от 20 до 1200 мм)

Передавливатель — устройство, предназначенное для временного пережатия полиэтиленовой трубы при проведении врезок в газопровод без снижения давления (рис. 3.24).

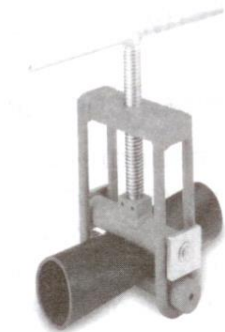


Рис. 3.24. Передавливатель механический производства фирмы «ROTHENBERGER» (для полиэтиленовых труб диаметром от 20 до 225 мм)

Очистные механизмы — машины и механические устройства, производящие очистку внутренней полости стальных труб от наплывов грата, отложений и грязи перед протяжкой полиэтиленовых труб (рис. 3.25).

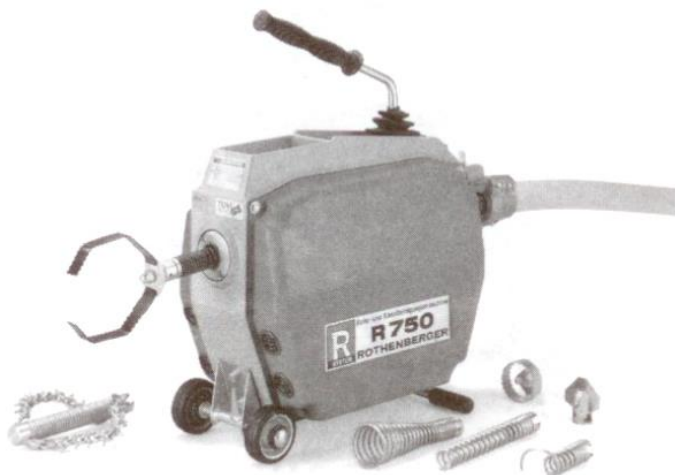


Рис. 3.25. Прочистная машина производства фирмы «ROTHENBERGER» (для прочистки и санации трубопроводов диаметром от 20 до 600 мм)

4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА

4.1. КВАЛИФИКАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ СВАРЩИКОВ И СПЕЦИАЛИСТОВ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Сварщики и специалисты сварочного производства обязаны пройти аттестацию на право производства сварочных работ на трубопроводах, относящихся к опасным техническим устройствам, например газопроводах.

Порядок проведения аттестации закреплен в Технологическом регламенте проведения аттестации сварщиков и специалистов сварочного производства, который был утвержден постановлением Госгортехнадзора РФ от 25.06.2002 г. № 36.

В соответствии с этим документом сварщик должен пройти обучение и сдать теоретический и практический экзамены. На практическом экзамене сварщик должен выполнить контрольные сварные соединения, по диаметру и толщине однотипные производственным, в соответствии с заявкой на аттестацию.

Количество этих соединений зависит от типа сварочного оборудования. Так, при сварке нагретым инструментом встык оно колеблется от одного до трех в зависимости от степени автоматизации сварочной машины (наибольшее — для ручной машины), а при использовании деталей с закладными нагревателями сваривают два образца: одно муфтовое и одно соединение с седловым отводом, причем сварку одного из соединений следует выполнять в ручном режиме.

Если трубы свариваются внахлест, то количество контрольных соединений должно быть не менее трех, в положении «труба с трубой» или «труба — муфта — труба». При аттестации на сварку газопроводов контрольное сварное соединение выполняют в горизонтальном положении, а результаты аттестации распространяются на все положения стыка в пространстве.

Для контрольных образцов выбираются отрезки труб длиной не менее 300 мм, при раструбном способе сварки — не менее 200 мм. Для получения аттестации на право проведения сварки труб и деталей диа-

метром до 225 мм необходимо успешно выполнить контрольные соединения образцов диаметром от 63 до 110 мм нагретым инструментом встык или при помощи деталей с ЗН диаметром от 20 до 110 мм. Для трубопроводов диаметром свыше 225 мм производят сварку контрольных образцов диаметром свыше 110 мм нагретым инструментом встык или при помощи детали с ЗН диаметром свыше 225 мм. Для раструбного способа диаметр образцов колеблется от 20 до 90 мм, а область применения ограничена двойным размером диаметра по сравнению с образцом.

Визуальный, измерительный контроль качества сварных соединений и механические испытания образцов выполняют в соответствии с требованиями нормативных документов для данного вида трубопровода.

По результатам аттестации оформляется протокол аттестации сварщика в двух экземплярах, один из которых остается у сварщика. При успешном прохождении аттестации сварщику выдается удостоверение с обложкой зеленого цвета. Если перерыв в работе у сварщика составил более 8 месяцев, то аттестационное удостоверение считается недействительным.

При проведении аттестации на право руководства и осуществления технического контроля за проведением сварочных работ при монтаже полиэтиленовых трубопроводов все специалисты должны сдать общий и специальный экзамены, включая выполнение практического задания.

Экзамены проводятся в письменной форме или с помощью компьютера. На общем экзамене специалисту сварочного производства задают не менее 30, а на специальном — не менее 20 произвольно выбранных вопросов, а также дают практическое задание в соответствии с направлением его производственной деятельности. Специалист считается выдержавшим экзамены, если он правильно ответил на 80 % и более вопросов, заданных ему на каждом экзамене, и успешно выполнил практическое задание.

По результатам аттестации оформляется протокол в двух экземплярах и выдается удостоверение с обложкой красного цвета. Срок

действия удостоверения может быть продлен без процедуры проведения экзаменов, но не более двух раз.

Аттестация сварщиков и специалистов проводится через аттестационные центры, входящие в систему Национального аттестационного комитета по сварочному производству (НАКС) и зарегистрированные в ней.

4.2. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРОЧНЫХ РАБОТ

4.2.1. Общие положения

При строительстве и реконструкции трубопроводов с использованием полиэтиленовых труб для обеспечения требуемого уровня качества производят:

- 1) проверку квалификации сварщиков;
- 2) входной контроль качества применяемых труб, соединительных деталей;
- 3) технический осмотр сварочных устройств (нагревательного инструмента, сварочного центратора, торцевателя, блока питания, программного устройства, вспомогательного инструмента и т.п.), а также другого технологического оборудования (лебедки, скоростного парогенератора и т.д.);
- 4) систематический операционный контроль качества сборки под сварку и режимов сварки;
- 5) визуальный контроль (внешний осмотр) сварных соединений и инструментальный контроль их геометрических параметров;
- 6) механические испытания сварных соединений;
- 7) контроль сварных стыковых соединений физическими методами в соответствии с требованиями нормативных документов;
- 8) контроль качества выполненных работ при помощи видеокамеры (в зависимости от применяемой технологии);
- 9) гидравлические или пневматические испытания смонтированного трубопровода при его сдаче в эксплуатацию в соответствии с требованиями нормативных документов.

Возможные дефекты сварки, причины и способы их устранения приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Возможные дефекты сварки, причины и способы их устранения

Признаки дефектов	Причины дефекта	Способы предупреждения
Контактная стыковая сварка		
Неравномерная толщина валика	1) Неровные торцевые поверхности; 2) плохая центровка труб при сварке; 3) перекос тру при сварке	• Улучшить степень чистоты свариваемых поверхностей. Проверить перпендикулярность торца трубы ее оси; • отрегулировать приспособление для сборки и сварки труб; • устранить люфт в зажимных хомутах приспособления
Высота валика менее 1 мм	Температура оплавления ниже нормы	• Отрегулировать температуру нагревательного инструмента
Непровары	Время оплавления меньше нормы	• Увеличить время выдержки на инструменте торцов труб
Высота валика 3...5 мм	1) Усилия при оплавлении выше нормы; 2) усилия при сварки выше нормы; 3) температура оплавления выше нормы; 4) время оплавления больше нормы	• Уменьшить усилия при оплавлении до нормы; • уменьшить усилия при сварке до нормы; • отрегулировать температуру нагревательного инструмента; • уменьшить время выдержки на инструменте торцов свариваемых труб
Трещины и раковины по линии сварки	Усилия при сварке ниже нормы	• Увеличить усилия при сварке до нормы

Признаки дефектов	Причины дефекта	Способы предупреждения
Пузыри воздуха в шве	1) Плохая подготовка торцов труб; 2) температура оплавления ниже нормы; 3) интервал между окончанием оплавления и соединением свариваемых торцов труб больше нормы; 4) температура нагрева выше нормы; 5) загрязненная поверхность нагревательного инструмента торцов труб	• Улучшить степень частоты свариваемых поверхностей; • отрегулировать температуру нагревательного инструмента; • уменьшить интервал между окончанием оплавления и соединением свариваемых поверхностей • отрегулировать температуру нагревательного инструмента; • произвести очистку торцов поверхностей нагревательного инструмента

Контактная сварка в раструб

Неполное вдвигание конца трубы в раструб	1) Температура или время оплавления меньше нормы; 2) недостаточная глубина оплавления свариваемых деталей	• Отрегулировать температуру нагревательного инструмента. Увеличить глубину оплавления до нормы
Чрезмерное вдвигание конца трубы в раструб	1) Температура или время оплавления больше нормы; 2) недостаточная глубина оплавления свариваемых деталей	• Отрегулировать температуру нагревательного инструмента. Увеличить глубину оплавления до нормы

Продолжение табл. 4.1

Признаки дефектов	Причины дефекта	Способы предупреждения
Наплывы внутри трубы при нормальной температуре инструмента	Время оплавления больше нормы	• Уменьшить время оплавления
Наплывы внутри трубы при нормальной температуре инструмента и времени оплавления	Недостаточные размеры дорна или наружной фаски на конце трубы	• Проверить размеры инструмента и фаски на конце трубы
Очень большой грат. Глянцевый оттенок. Материал грата однороден	Время оплавления больше нормы	• Уменьшить время оплавления
Грат отсутствует или очень невелик. Глянцевый оттенок. Материал грата однороден	Время оплавления меньше нормы	• Увеличить время оплавления до нормы
Очень большой грат. Матовый оттенок. Поперечные трещины. Незначительный белый налет. Излом хрупкий с белым налетом	Температура и время оплавления выше нормы	• Отрегулировать температуру нагревательного инструмента и уменьшить время оплавления до нормы
Умеренный грат. Матовый оттенок. Поперечные трещины. Белый налет	Температура оплавления выше нормы; время оплавления ниже нормы	• Отрегулировать температуру нагревательного инструмента
Неравномерное распределение или отсутствие валика оплавленного материала по торцам соединения	Деталь свободно надевается на инструмент. Эллипсность трубы	• Проверить размеры нагревательного инструмента, калибровать трубы

Признаки дефектов	Причины дефекта	Способы предупреждения
Дефекты в шве (непровары, пузыри и т.д.)	1) Неочищенный нагревательный инструмент или свариваемые поверхности. Эллипсность сопрягаемых деталей; 2) чрезмерное охлаждение оплавленных поверхностей; 3) попадание на оплавленный слой деталей капель снега или дождя; 4) перегос трубы в рас­трубе	• Проверить очистку нагревательного инстру­мента и труб. Калибровать трубы; • отрегулировать темпера­туру нагревательного ин­струмента; • уменьшить интервал между окончанием оплавления и сваркой; • защитить участок сварки от атмосферных осадков; • отрегулировать приспо­собление для сварки
Складки внутри тру­бопроводов	Оплавленный конец трубы потерял устойчи­вость	• Уменьшить время оплавления до нормы
Надрез между слоями на конце ра­струба и трубы	Перегрев ра­струба или трубы	• Уменьшить время оплавления до нормы

**Сварка с применением соединительных
деталей с закладными нагревательными элементами**

Непровары	1) Недостаточная мощ­ность сварочного тока. Недостаточное время нагрева спирали; 2) большой радиальный зазор в зоне сварки 3) овальность наружно­го диаметра труб	• Установить оптимальные режимы сварки и произве­сти повторную сварку; • точно подгонять наруж­ный диаметр трубы под внутренний диаметр рас­труба соединительной де­тали
Свищи	Глубокие царапины на трубе	• Не применять для сварки трубы с механическими повреждениями поверхно­сти сварки

Продолжение табл. 4.1

Признаки дефектов	Причины дефекта	Способы предупреждения
Прожоги	1) Большая мощность сварочного тока; 2) чрезмерная продолжительность нагрева спирали; 3) повторная сварка неостывшего стыка	• Привести режимы сварки в соответствие со специальной технологической инструкцией; • не допускать повторной сварки неостывших стыков. Сваренные стыки пометать мелом (условным знаком)
Поры	Попадание воды, масла, жиров и других веществ в сварной шов	• Обезжировать поверхности сварки. Защищать место сборочно-сварочных работ от атмосферных осадков. Предохранять собранные соединения от попадания в зону сварки влаги и других загрязнений
Трещины	Свариваемые поверхности окислены кислородом воздуха	• На поверхностях сварки механической обработкой снять слой материала толщиной не менее 0,1 мм
Посторонние включения	Наличие грязи и других включений на поверхности сварки	• Удалить с поверхности сварки грязь и посторонние включения; • обезжирить поверхность сварки ацетоном

Газовая прутковая сварка

Пруток и основной материал почти не деформированы	Низкая температура, сварки или высокая скорость сварки	• Отрегулировать режим сварки
Пруток не деформирован, основной материал сильно деформирован	Пруток нагревается недостаточно, а основной материал перегрет	• При сварке направлять струю газа равномерно на свариваемые поверхности и присадочный материал
Пруток сильно деформирован, основной материал не деформирован	Повышенный нагрев прутка и недостаточный — основного материала	• То же

Признаки дефектов	Причины дефекта	Способы предупреждения
Пруток — деформирован неравномерно	Низкая или неравномерная скорость сварки	• Увеличить скорость сварки
Обрыв прута	1) Перегрев прутка; 2) малая скорость подачи прутка в шов	• Уменьшить температуру газа на выходе из горелки; • увеличить скорость подачи прутка в шов
Трещина в шве	Края прутка прогреваются, недостаточен диаметр сопла горелки; дефект сопла	• Проверить диаметр сопла горелки
Воздушные пузырьки (непровары) в месте спая прутка с основным материалом	Недостаточная температура сварки или наличие влаги в газе-теплоносителе	• Проверить температуру газа-теплоносителя. Проверить влагомаслоотделитель
Поверхность шва ниже поверхности основного материала	Мал диаметр прутка или слишком велика его деформация	• Проверить температуру газа-теплоносителя и диаметр прутка

Следует производить проверку технологического оборудования на соответствие паспортным данным согласно инструкции по его эксплуатации. Если сварочное или технологическое оборудование находится на сервисном обслуживании, то проверка выполняется в соответствии с рекомендациями сервисного центра. Дата технического осмотра и его результаты должны быть отражены в журнале производства работ.

4.2.2. Требования к контролю качества сварных соединений

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

Обычно вырезку контрольных соединений из трубопровода осуществляют в период производства сварочных работ целью исключения вварки «катушек».

Сварные соединения (за исключением соединений, полученных экструзионной сваркой), забракованные при внешнем осмотре и измерениях, исправлению не подлежат и должны быть удалены из трубопровода.

При неудовлетворительных результатах испытаний сварных соединений экспресс-методами рекомендуется произвести проверку удвоенного числа соединений тем же методом контроля, по которому получены неудовлетворительные результаты. Если при повторной проверке хотя бы одно из проверяемых соединений окажется неудовлетворительного качества, то сварщик должен быть отстранен от работы и направлен для прохождения дополнительной практики или должна быть проверена сварочная техника, которая использовалась для сварки этих стыков. Порядок проведения дальнейших работ на трубопроводе должен определяться требованиями нормативных документов.

К обязательным методам оценки качества всех типов сварных соединений относятся:

- внешний осмотр;
- гидравлические или пневматические испытания.

Для сварных соединений, полученных нагретым инструментом встык, осуществляется также:

- испытание на осевое растяжение;
- ультразвуковой контроль (для газопроводов).

Соединения, полученные при раструбной и раструбно-стыковой сварке, проверяются на сдвиг и отдир. Испытания на сплющивание проводят для соединений с деталями ЗН, а седловые отводы с ЗН испытываются на отрыв.

Среди специальных методов испытаний можно назвать следующие:

- 1) испытания при постоянном внутреннем давлении;
- 2) испытания на статический изгиб или длительное растяжение — для соединений, полученных нагретым инструментом встык;
- 3) испытания на стойкость к удару — только для седловых отводов.

Все виды испытаний проводятся в соответствии с методиками, установленными нормативными документами.

Рассмотрим подробнее каждую из методик.

4.2.3. Внешний осмотр

Осуществляется при помощи средств измерения, специальных шаблонов и с использованием метода сравнения контролируемого шва с контрольным образцом, который отвечает всем требованиям нормативных документов и согласован с заказчиком или другим приемщиком выполненных работ.

Внешний вид сварных соединений, выполненных сваркой нагретым инструментом встык, должен отвечать следующим требованиям:

- валики сварного шва должны быть симметрично и равномерно распределены по окружности сваренных труб (£^1);
- цвет валиков должен быть одного цвета с трубой, а поверхность не должна иметь трещин, пор, инородных включений;
- симметричность шва (отношение ширины наружных валиков грата к общей ширине грата) должна быть в пределах $0,3 \dots 0,7$ в любой точке шва. При сварке труб с соединительными деталями это отношение допускается в пределах $0,2 \dots 0,8$;
- смещение наружных кромок свариваемых заготовок не должно превышать 10 % от толщины стенки трубы (детали) (рис. 4.1);
- впадина между валиками грата (линия сплавления наружных поверхностей валиков грата) не должна находиться ниже наружной поверхности труб (деталей);
- угол излома сваренных труб или трубы и соединительной детали не должен превышать 5° .

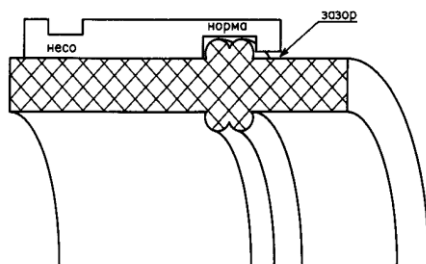


Рис. 4.1. Измерение смещения кромок при помощи шаблона

Размеры валиков наружного грата швов зависят от толщины стенки свариваемых труб (деталей) и должны отличаться по высоте и ширине не более чем на 20 %.

Определение размеров валиков производится непосредственно на сварном шве в условиях строительного производства. Допускается определять расположение впадины между валиками грата и замер самих валиков после срезания наружного грата по всему периметру трубы. Срезание наружного грата должно производиться при помощи специальных приспособлений, не повреждающих тело трубы и не выводящих толщину стенки за пределы допускаемых отклонений. Отдельные наружные повреждения валиков сварного шва (срезы, сколы, вдавленности от клеймения стыка) протяженностью не более 20 мм и не затрагивающие основного материала трубы не следует считать браком.

Назовем основные дефекты, которые обнаруживаются при внешнем осмотре соединений, выполненных нагретым инструментом встык (рис. 4.2, 4.3):

- шов с несимметричными валиками грата одинаковой высоты в одной плоскости, но различной в противоположных точках шва, возникающий из-за превышения допустимого зазора между торцами труб перед сваркой;
- малый грат округлой формы из-за недостаточного давления при осадке шва или малого времени прогрева;
- большой грат округлой формы из-за чрезмерного времени прогрева или повышенной температура нагревателя;
- несимметричный грат по всей окружности шва из-за разных толщин стенок труб или разного материала труб;
- высокий и узкий грат, не касающийся краями трубы, возникающий из-за чрезмерного давления при осадке стыка при пониженной температуре нагревателя;
- малый грат с глубокой впадиной между валиками из-за низкой температуры нагревателя при недостаточном времени прогрева;
- неравномерность (асимметричность) валиков грата из-за смещения труб относительно друг друга;
- неравномерное распределение грата по периметру шва из-за смещения нагревателя в процессе прогрева;
- шов с многочисленными наружными раковинами по всему периметру, с концентрацией по краям грата, с возможными следами поперечного растрескивания из-за чрезмерной температуры нагревателя, значение которой выше температуры деструкции данной марки полиэтилена.

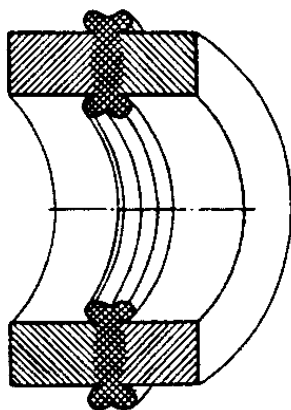


Рис. 4.2. Качественное соединение, выполненное нагретым инструментом встык (хороший шов с гладкими и симметричными валиками граты округлой формы)

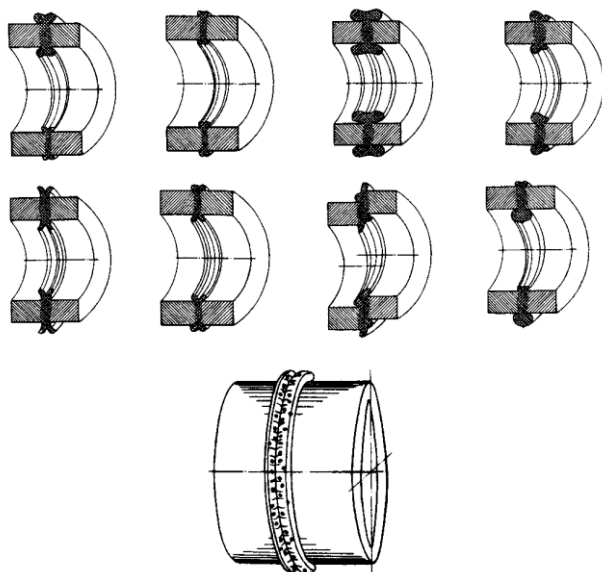


Рис. 4.3. Виды дефектных соединений при сварке нагретым инструментом встык

Внешний вид сварных соединений, выполненных при помощи деталей закладными нагревателями, должен отвечать следующим требованиям (рис. 4.4):

- трубы за пределами соединительной детали должны иметь следы механической обработки (зачистки);
- индикаторы сварки деталей должны находиться в выдвинутом положении (там, где они предусмотрены конструкцией детали);
- угол излома сваренных труб или трубы и соединительной детали не должен превышать 5° ;
- поверхность деталей не должна иметь следов температурной деформации или сгоревшего полиэтилена;
- по периметру детали не должно быть следов расплава полиэтилена, возникшего в процессе сварки.

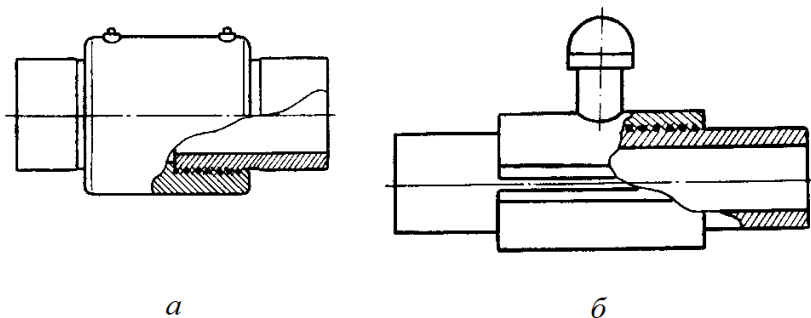


Рис. 4.4. Качественное соединение при помощи деталей с ЗН (деталь плотно облегает поверхность трубы, поверхность гладкая без искривлений и зазоров):
а — муфта; б — отвод

Рассмотрим основные дефекты, которые можно обнаружить при проведении внешнего осмотра сварных соединений, выполненных при помощи деталей с закладными нагревателями (рис. 4.5):

- зазор между охватывающей частью детали и трубой из-за чрезмерной обработки поверхности трубы или недостаточного усилия прижатия отвода;
- температурная деформация наружной поверхности детали из-за чрезмерного времени нагрева или напряжения питания;
- непараллельность (искривление осей трубы и детали) из-за недостаточного заглубления концов труб внутрь детали или деформации соединения до его остывания;

- частичное появление расплава полиэтилена по торцам детали из-за сдвига трубы в процессе сварки или смещения спирали;
- если индикаторы сварки находится в исходном положении — это могло произойти из-за недостаточного времени сварки или недостаточного напряжения, подаваемого на спираль детали.

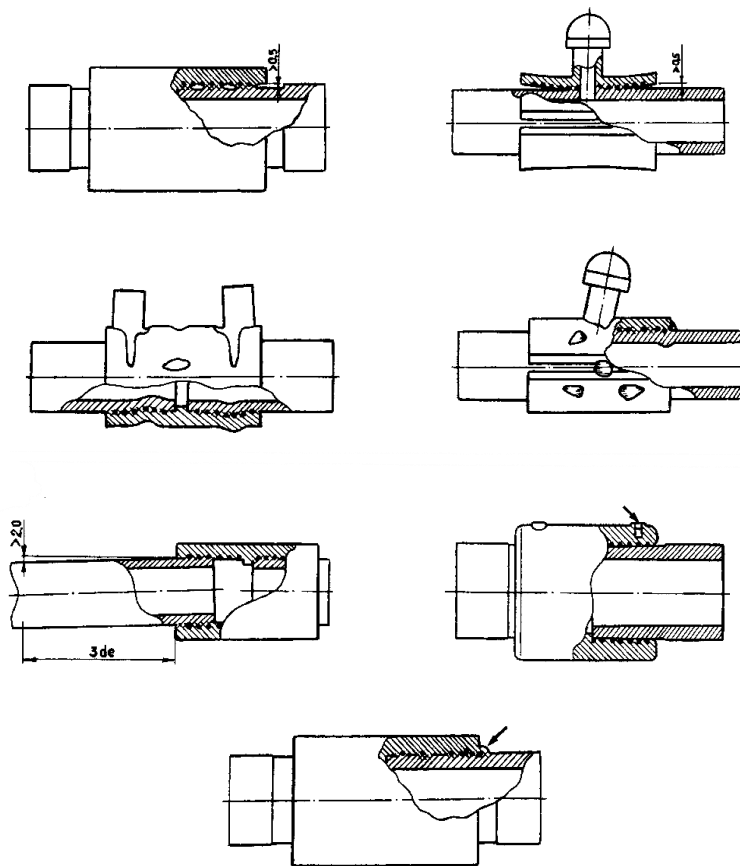


Рис. 4.5. Виды дефектных соединений при сварке деталями с ЗН

Внешний вид сварных соединений, выполненных при помощи сварки внахлест (раструбно-стыковым способом), должен отвечать следующим требованиям (рис. 4.6):

- валики сварного шва должны быть симметрично и равномерно распределены по окружности сваренных соединений;
- цвет валиков должен быть одного цвета с трубой, а поверхность не иметь трещин, пор, инородных включений;
- угол излома сваренных труб или трубы и соединительной детали не должен превышать 2° ;
- поверхность соединения не должна иметь следов температурной деформации или сгоревшего полиэтилена.

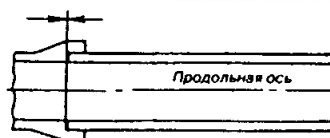


Рис. 4.6. Качественное соединение при помощи раструбной или раструбно-стыковой сварки (деталь плотно облегает поверхность трубы, поверхность гладкая без зазоров)

Основные дефекты, которые можно обнаружить при проведении внешнего осмотра сварных соединений, выполненных раструбной или раструбно-стыковой сваркой (рис. 4.7):

- зазор между охватывающей частью детали (раструбом) и трубой, возникающий из-за несоответствия геометрических размеров или перегрева раструба на нагревательном элементе;
- температурная деформация наружной поверхности соединения, грат с возможными следами поперечного растрескивания из-за чрезмерного нагрева выше температуры деструкции данной марки полиэтилена;
- непараллельность (искривление осей трубы и детали) из-за недостаточного заглубления концов труб внутрь детали или вследствие деформации соединения до его остывания;
- появление значительного количества расплава полиэтилена на поверхности трубы вблизи соединения из-за сдвига трубы в процессе сварки;

- неравномерный грат или грат со следами сгоревшего полиэтилена по всему периметру, возникающий из-за налипания полиэтилена на поверхность нагревателя, после предыдущей сварки;
- неполное вдвигание конца трубы в раструб из-за низкой температуры нагревательного элемента или уменьшения продолжительности оплавления или недостаточной длины зоны оплавления соединения;
- чрезмерное вдвигание конца трубы в раструб из-за высокой температуры нагревательного элемента, увеличения продолжительности оплавления или отсутствия ограничителя хода подвижного зажима центрирующего приспособления.

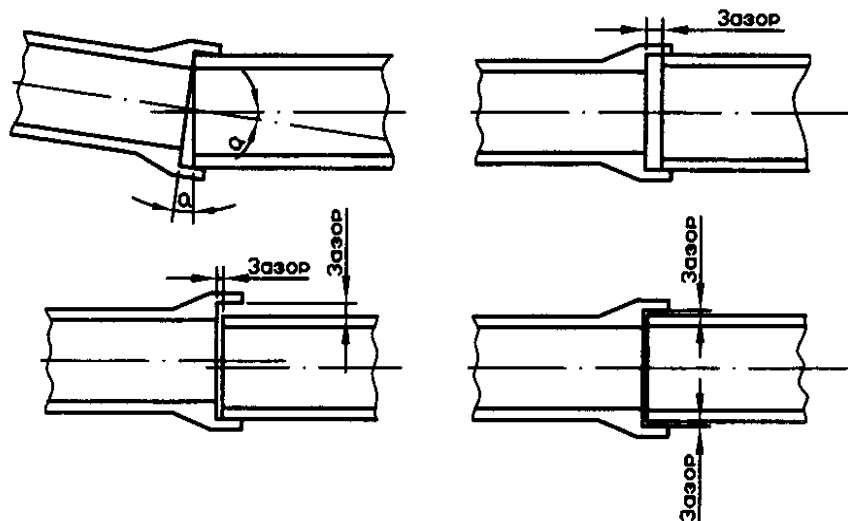


Рис. 4.7. Виды дефектных соединений при раструбной или раструбно-стыковой сварке

Внешний вид сварных соединений, выполненных экструзионной сваркой, должен отвечать следующим требованиям:

- присадочный материал (пруток) должен быть симметрично и равномерно распределен по окружности сваренных труб;
- цвет присадочного материала (прутка) должен быть одного цвета, а поверхность не должна иметь трещин, пор, инородных включений;

- поверхность шва не должна находиться ниже наружной поверхности труб (деталей).

Основные дефекты, которые обнаруживаются при внешнем осмотре соединений, выполненных экструзионной сваркой:

- присадочный материал (пруток) и материал трубы (детали) почти не деформированы из-за низкой температуры сварки или высокой скорости ее проведения;

- присадочный материал (пруток) почти не деформирован, а материал трубы (детали) сильно деформирован, что происходит из-за недостаточного нагрева прутка и перегрева основного материала;

- присадочный материал (пруток) сильно деформирован, а материал трубы (детали) почти не деформирован из-за перегрева прутка и недостаточного нагрева основного материала;

- шов с неодинаковой шириной поверхности в одной плоскости из-за превышения допустимого зазора между торцами труб перед сваркой или смещения труб относительно друг друга;

- неравномерная укладка присадочного материала (прутка) из-за неравномерной скорости подачи прутка или его прогрева;

- обрыв прутка из-за чрезмерного времени прогрева;

- воздушные пузыри, непровары в месте спая прутка с основным материалом из-за неправильного положения нагревателя при сварке, наличия влаги в газе-теплоносителе или слишком низкой температуры сварки;

- шов с многочисленными наружными раковинами по всему периметру с возможными следами растрескивания из-за принудительного его охлаждения;

- поверхность шва ниже поверхности основного материала из-за малого диаметра прутка или недостаточного заполнения шва прутком.

Обнаруженные дефекты швов, выполненных экструзионной сваркой, подлежат исправлению.

4.2.4. Пневматические или гидравлические испытания

Сварные соединения подвергаются также пневматическим или гидравлическим испытаниям. Пневматические испытания проводят, в частности, для газопроводов: как правило, испытания соединений проводятся совместно с испытаниями построенного трубопровода в целом. Испытания сварных швов конструкций соединительных деталей, проводят на местах из изготовления. Сварные соединения должны выдер-

живать испытания на прочность и герметичность при внутреннем давлении воздуха или воды по нормам, принимаемым в соответствии с требованиями нормативных документов, в зависимости от назначения трубопровода.

Рассматриваемые испытания проводятся не ранее, чем через сутки после сварки последнего соединения.

4.2.5. Испытания на осевое растяжение

Испытаниям на осевое растяжение подвергаются соединения, выполненные сваркой нагретым инструментом встык.

Для этого из образца соединения, представленного для испытаний, вырезаются или вырубаются (в зависимости от толщины стенки трубы) образцы-лопатки со сварным швом, расположенным в центре образца (рис. 4.8).

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

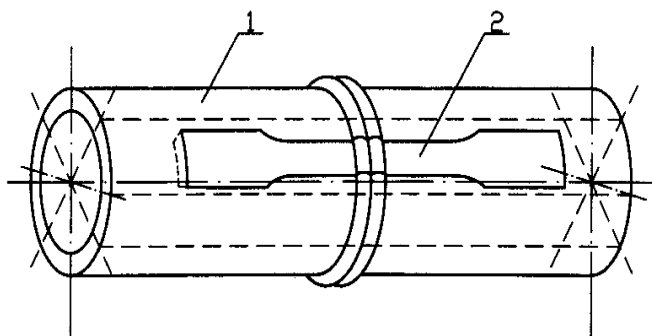


Рис. 4.8. Схема вырезки образцов из сварного соединения для испытания на осевое растяжение:

1 — патрубок со сварным соединением; 2 — расположение 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 говорит о высокой пластичности. 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 не больших величинах относительного удлинения, как правило, не менее 20 и не более 50 %, и говорит о низкой пластичности. 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 говорит о хрупком разрушении. Линия разрыва проходит точно по плоскости сварки.

Результаты испытания считаются положительными, если при испытании на осевое растяжение не менее 80 % образцов имеют пластичный характер разрушения I типа.

Остальные 20 % образцов могут иметь характер разрушения II типа. Разрушение III типа не допускается.

При хрупком разрыве по шву для определения причин разрушения анализируются характер излома и дефекты шва.

При испытании на осевое растяжение определяют также относительное удлинение при разрыве. По результатам испытаний составляют протокол по форме, установленной требованиями нормативных документов. Рассматриваемый вид испытаний проводят на разрывной машине.

4.2.6. Ультразвуковой контроль

Ультразвуковому контролю (УЗК) подвергаются соединения полиэтиленовых труб, выполненные сваркой нагретым инструментом встык. Применение этого метода является обязательным при контроле стыковых соединений газопроводов.

Количество сварных соединений, подвергаемых УЗК, устанавливается нормативными документами. Для УЗК должны использоваться дефектоскопы, позволяющие запоминать и хранить информацию о результатах контроля, а также осуществляющие вывод информации на стандартный принтер или экран персонального компьютера.

Методику использования и настройки применяемых дефектоскопов определяют в соответствии со специальной инструкцией.

Рабочая часть используемых пьезоэлектрических преобразователей должна обеспечивать плотное сопряжение с поверхностью труб при контроле сварных соединений.

С помощью ультразвукового контроля выявляются внутренние дефекты типа газовых пор, несплошностей, посторонних включений,

трещин (в околошовной зоне или зоне сварки), а также смещение внутренних кромок труб.

Основными измеряемыми характеристиками выявленных дефектов являются:

- эквивалентная площадь дефектов;
- координаты дефекта в сварном соединении;
- условная протяженность дефекта;
- суммарная условная протяженность дефектов.

Бракованными считаются сварные соединения, в которых обнаружен(-ы):

- отдельный внутренний дефект, величина эквивалентной площади которого превышает установленный норматив (в зависимости от толщины стенки трубы);
- многочисленные внутренние дефекты, допустимые по величине эквивалентной площади отдельных дефектов, но имеющие суммарную условную протяженность более 15 % периметра трубы;
- смещение внутренних кромок труб более 10 % от номинальной толщины стенки труб.

Допустимая величина эквивалентной площади дефектов сварных соединений при проведении УКЗ устанавливается нормативными документами.

4.2.7. Испытание на сплющивание

Испытаниям на сплющивание подвергают соединения, полученные сваркой при помощи деталей муфтового типа (муфт, переходов, отводов, тройников, заглушек и т.п.) с ЗН.

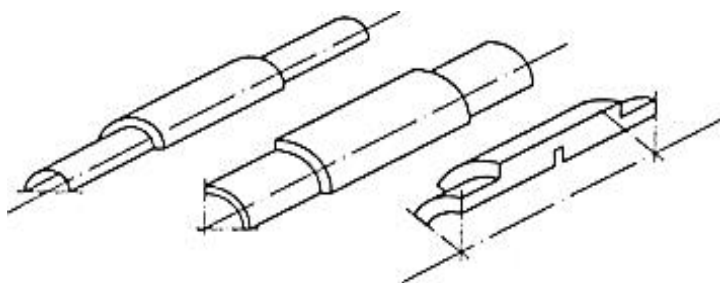


Рис. 4.9. Общий вид образцов-сегментов

Испытания проводят на образцах-сегментах (рис. 4.9) путем сжатия труб у торца соединения до величины, равной двойной толщине стенки (рис. 4.10).

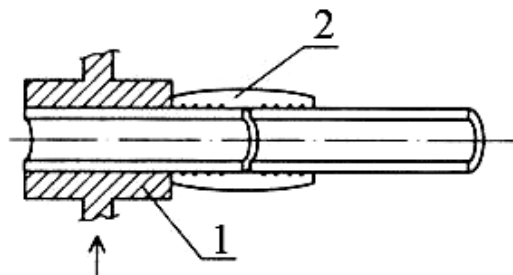


Рис. 4.10. Схема испытания образцов-сегментов на сплющивание:

1 — обжимные плиты; 2 — испытываемый образец

Стойкость сварного шва к сплющиванию характеризуется процентом отрыва, который является отношением длины сварного шва, не подвергнувшейся отрыву, к полной длине сварного шва в пределах одной трубы. Результаты испытаний считают положительными, если на всех испытанных образцах отрыв не наблюдался или если отношение длины шва, не подвергнутой отрыву, к общей измеренной длине шва составляет не менее 40 %.

4.2.8. Испытание на отрыв

Испытаниям на отрыв (рис. 4.11) подвергают сварные соединения труб и седловых отводов с ЗН.

Сварное соединение подвергается испытанию целиком и продолжается до полного отделения седлового отвода от трубы.

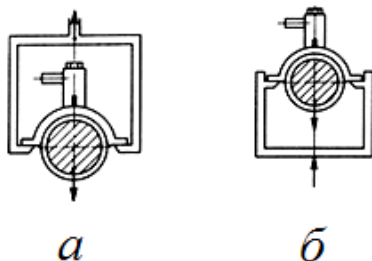


Рис. 4.11. Схемы испытания седлового отвода на отрыв:

a — отрыв при растяжении; b — отрыв при сжатии

В результате испытания соединения излом в месте сварки седлового отвода с трубой должен иметь полностью или частично пластичный характер разрушения по замкнутому периметру сварного шва, хрупкое разрушение не допускается. В процессе проведения испытаний фиксируется также разрушающая нагрузка.

4.2.9. Испытания на сдвиг

Испытаниям на сдвиг (рис. 4.12) подвергают раструбные сварные соединения труб или трубы и соединительной детали.

Из середины раструбного соединения вырезается образец в виде кольца, высота которого равна половине глубины раструбы.

В процессе проведения испытаний фиксируется также разрушающая нагрузка. В результате испытания разрушающее напряжение должно быть не менее 8 МПа для образцов соединения труб из ПВД и 15 МПа — для труб из ПНД.

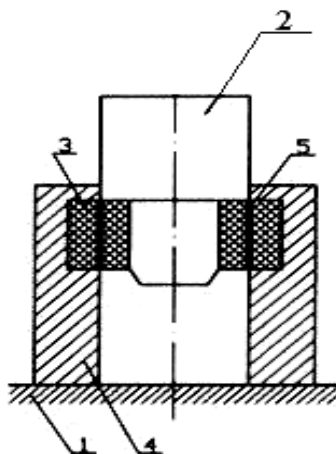


Рис. 4.12. Схема испытания раструбного соединения на сдвиг:
1 — основание; 2 — полая металлическая форма; 3 — испытываемый образец;
4 — металлический пуассон; 5 — сварной шов

4.2.10. Испытания на отдир

Испытаниям на отдир (рис. 4.13) подвергают раструбные и раструбно-стыковые сварные соединения труб. Они выполняются путем

изгиба свободной части образца, защемленного на половину длины сварного шва. Образцы изготавливаются в двойном количестве: для испытаний на отдир трубы от раструба соединительной детали и для испытаний на отдир раструба соединительной детали от трубы.

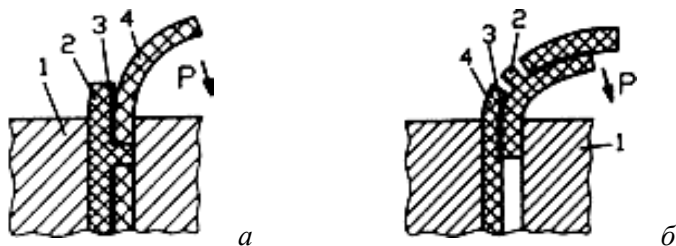


Рис. 4.13. Схема испытания раструбных сварных соединений на отдир: *а* — трубы от раструба соединительной детали; *б* — раструба соединительной детали от трубы; 1 — зажимное устройство; 2 — часть образца, вырезанная из соединительной детали; 3 — сварной шов; 4 — часть образца, вырезанная из трубы

При толщине стенки трубы до 10 мм ширина образцов должна составлять 10 мм, а длина — от 243 до 600 мм (в зависимости от толщины стенки трубы). Если толщина стенки трубы более 10 мм, то образцы для испытаний должны иметь ширину 15 мм и длину 600 мм.

Положительным считается результат, когда разрушение происходит по целому материалу или частично по шву и частично по целому материалу.

4.2.11. Испытание на статический изгиб

Испытаниям на статический изгиб (рис. 4.14) подвергаются соединения, выполненные сваркой нагретым инструментом встык. Их проводят на образцах-полосках с расположенным по центру сварным швом.

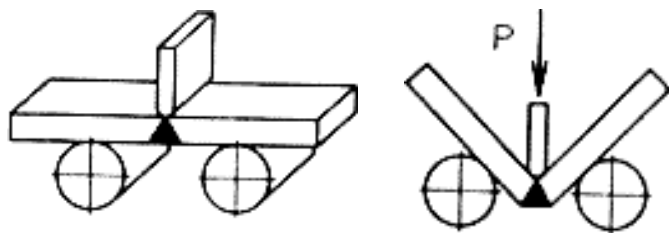


Рис. 4.14. Схема испытаний на статический изгиб

При испытании на статический изгиб определяется угол изгиба образца, при котором появляются первые признаки разрушения. Результаты испытания считаются положительными, если испытываемые образцы выдерживают без разрушения и появления трещин изгиб на угол не менее 160° .

4.2.12. Испытание при постоянном внутреннем давлении

Испытаниям при постоянном внутреннем давлении могут подвергаться все виды сварных соединений полиэтиленовых труб.

В процессе испытания определяется стойкость при постоянном внутреннем давлении в течение заданного промежутка времени при нормальной и повышенной температурах, а также при определенной величине начального напряжения в стенке трубы.

Результаты испытаний считаются положительными, если все испытываемые образцы не разрушились до истечения контрольного времени испытания или разрушился один из образцов, но при повторных испытаниях ни один из образцов не разрушился.

4.2.13. Испытание на длительное растяжение

Испытание сварных соединений на длительное растяжение проводится для определения длительной несущей способности сварных соединений, выполненных сваркой нагретым инструментом встык.

Одновременно с испытанием оцениваемых образцов сварных швов при тех же условиях испытывают образцы других сварных соединений, сваренных при оптимальных параметрах сварки (базовые стыки). Образцы оцениваемых сварных соединений и базовые стыки должны быть изготовлены из одной марки материала и одной партии труб.

Испытания проводят до появления трещин не менее чем у 50 % испытываемых образцов. Результаты испытания сравниваются по среднему значению времени, прошедшему до появления трещин.

По мере проведения испытаний образцы должны подвергаться периодическому внешнему осмотру с целью выявления хрупкого излома и трещин в зоне шва, при этом изломы в области зажимов не учитываются.

Результаты испытания считаются положительными, если образцы оцениваемых сварных соединений имеют среднее значение времени до

появления трещин не ниже значений, полученных для базовых стыковых соединений.

4.2.14. Испытание на стойкость к удару

Испытаниям на стойкость к удару (рис. 4.15) подвергаются соединения, выполненные при помощи седловых крановых отводов. Этот вид испытаний проводят на образцах в виде патрубков с расположенным посередине седловым отводом.

При испытании на стойкость к удару определяется способность образца выдержать внутреннее пневматическое давление ($0,6 \pm 0,05$) МПа в течение суток после нанесения по нему двух ударов падающим грузом массой ($5,0 \pm 0,05$) кг.

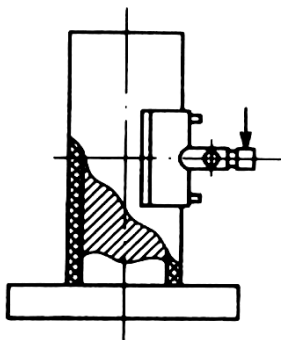


Рис. 4.15. Схема испытаний на стойкость к удару

Результаты испытания считаются положительными, если оцениваемые образцы выдерживают испытание при отсутствии видимых разрушений и разгерметизации.

4.3. ВИДЫ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ

Обеспечение качества сварных соединений в условиях производства включает комплекс мероприятий, проводимых на различных стадиях сварочного производства:

- до начала процесса сварки (предупредительный контроль);
- во время процесса сварки (технологический контроль);
- после завершения процесса сварки (приемочный контроль).

Предупредительный контроль предусматривает контроль соответствия свариваемых труб и деталей, а также вспомогательных материалов техническим требованиям нормативной документации на их производство; контроль размеров трубных заготовок; контроль качества подготовки свариваемых поверхностей; контроль технического состояния применяемых инструментов и оборудования; проверку квалификации сварщиков; контроль технологической подготовленности производства.

Соответствие свариваемых труб, соединительных деталей и вспомогательных материалов техническим требованиям нормативных документов на их производство проверяется внешним осмотром. Поверхность труб и деталей должна быть ровной и гладкой, без трещин, пузырей, раковин, посторонних включений, следов холодных спаев, разложения материалов. Допускаются незначительные следы от формующего и калибрующего инструмента и незначительная сыпь на наружной поверхности трубы, остающаяся от пузырьков воздуха при калибровке. Для осуществления контроля необходимо изучить сертификаты — документы завода-изготовителя, в которых указаны физико-химические и механические свойства, время изготовления и другие данные. При истечении двухлетнего срока хранения труб или отсутствия сертификата на них трубы подвергают испытаниям в соответствии с ГОСТ 18599—2001 и проверяют их на свариваемость с оценкой качества сварных соединений механическими испытаниями.

При контроле размеров трубных заготовок проверяют линейные размеры заготовки, обеспечивающие ее установку в сварочное устройство, а также требуемые размеры сварных деталей и узлов трубопроводов. При проверке качества сборки под сварку заготовок устанавливают величины зазора между торцами заготовок и смещения кромок, а также чистоту свариваемых поверхностей. Свариваемые поверхности должны быть ровными, без вмятин и загрязнений, для чего перед сваркой проводится обезжиривание кромок растворителями (этиловым спиртом, уайт-спиритом и др.).

Техническое состояние применяемых инструментов и оборудования оценивают по отдельным показателям, характеризующим рабочие параметры и точность их соблюдения, а также безотказность в работе. Кроме этого, проверяют чистоту рабочих поверхностей нагревательного инструмента.

При контроле квалификации рабочего персонала необходимо убедиться, что к работе допущены рабочие, прошедшие специальную под-

готовку и соответствующую аттестацию, а также имеющие удостоверение на право выполнения работ по сварке пластмасс, выданное специальной аттестационной комиссией, проверявшей теоретические и практические знания такого специалиста.

Технологическая подготовка производства должна обеспечить полную технологическую готовность к производству работ в соответствии с заданными технико-экономическими показателями (наличие полного комплекта технической и технологической документации, средств технологического оснащения для производства сварочных работ, проекта производства сварочных работ). Проверяется наличие чертежей изделий, технологических карт, технических условий на изготовление, инструкций на монтаж оборудования и трубопроводов. Необходимо обратить внимание на условия выполнения работ — освещенность рабочего места, обеспечение требуемой температуры окружающей среды, отсутствие атмосферных осадков, обеспечение требований техники безопасности при производстве работ.

Технологический контроль предусматривает контроль правильности технологических параметров, влияющих на качество сварного соединения. Получение информации об этих параметрах позволяет производить оценку качества сварного соединения еще в процессе сварки.

При этом контролируют температуру сварки, давление при нагреве свариваемых поверхностей и при охлаждении сварного шва, время нагрева и охлаждения при сварке и другие параметры, указанные в технической документации на производство сварочных работ.

Для проверки правильности настройки сварочного оборудования на требуемые параметры сварки и для внесения коррективов в режим сварки, рекомендуется применять экспресс-контроль качества сварных соединений механическими испытаниями на растяжение, статической загиб и отдир. В отдельных случаях при стыковой сварке осуществляют контроль глубины прогрева торцов труб с помощью термочувствительной ленты, выпускаемой ВНПОбумпром, по ТУ 81–04–88–77. Термочувствительную ленту предварительно укладывают по окружности свариваемой трубы на участке нагрева. Плотное прилегание ленты к поверхности трубы обеспечивается с помощью банджа, выполненного из прозрачного материала. При нагреве до определенной температуры термочувствительная лента изменяет свой цвет, что позволяет наблюдать за перемещением температурного фронта по поверхности трубы. В некоторых случаях этот метод может применяться для полу-

чения термограммы — документа, с учетом которого дается заключение о качестве сварного шва.

Приемный контроль предусматривает проведение контроля качества сварных швов неразрушающими методами и механическими испытаниями, на основе результатов которых производят отбраковку швов.

Признаками удовлетворительного качества сварного шва является величина коэффициента прочности соединения K_c , значения которого для некоторых видов пластмасс при различных способах сварки приведены в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Коэффициенты прочности соединения K_c при кратковременных испытаниях образцов

Способ сварки	K_c не менее	
	ПНД,ПВД,ПП	ПВХ
Контактная встык	0,95	0,7
Контактная внахлест	1	—
Газовая прутковая	0,5	0,5

Коэффициент прочности соединения K_c определяется по формуле:

$$K_c = \sigma_p / \sigma_m,$$

где $\sigma_p = F_p / A_0$, $\sigma_m = F_m / A_0$, где σ_p — прочность при разрыве сварного образца, МПа; σ_m — предел текучести материала трубы, Мпа; F_p — нагрузка, при которой разрушился сварной образец, Н; F_m — нагрузка, при которой наступает предел текучести, Н; A_0 — начальное поперечное сечение образцов, мм².

С учетом экономических факторов в производственных условиях наиболее целесообразно применение неразрушающих методов контроля — рентгеногаммадефектоскопии и ультразвукового контроля.

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Определение эффективности применения труб из полимерных материалов в строительстве производится для экономической оценки и обоснования выбора материалов при проектировании конкретных объектов и при обосновании направлений развития производства взаимозаменяемых видов труб. Повышенная химическая стойкость труб из термопластов к агрессивным веществам позволяет не только экономить стали, цветные металлы и сплавы, но и увеличивает срок службы трубопроводов. Значительные резервы экономии при замене металлических труб пластмассовыми заложены в сокращении трудоемкости изготовления и монтажа трубопроводов, снижении затрат за счет бестраншейной прокладки и уменьшении транспортных расходов.

Кроме того, стоимость строительства и эксплуатации трубопроводов из пластмасс снижается из-за отсутствия необходимости производить их наружную антикоррозионную защиту, а также из-за снижения энергозатрат, связанных с характерным для металлических трубопроводов зарастанием внутреннего диаметра.

Трубы из термопластов эффективны при их использовании для транспортирования веществ, вызывающих повышенный износ металлических труб. Экономический эффект от применения труб из полимерных материалов в строительстве складывается из экономии дефицитных высоколегированных сталей и цветных металлов, увеличения сроков службы трубопроводов, сокращения эксплуатационных расходов, снижения себестоимости строительно-монтажных работ, и определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 + Z_{c1}) + \mathcal{E}_3 - (Z_2 + Z_{c2}) A,$$

где $\mathcal{E}$ — годовой экономический эффект, руб.; Z_1 и Z_2 — приведенные затраты на изготовление труб и деталей с учетом стоимости транспортировки до строительной площадки по сравниваемым вариантам пластмассовых и стальных труб на единицу измерения; Z_{c1} и Z_{c2} — приведенные затраты на сооружение трубопроводов по сравниваемым ва-

риантам в рублях (без учета стоимости заводского изготовления); Δ_3 — экономия в сфере эксплуатации за срок службы; A — годовой объем строительно-монтажных работ с применением новых строительных конструкций (пластмассовых труб).

Экономия в сфере эксплуатации за срок службы пластмассовых трубопроводов определяется по формуле:

$$\Delta_3 = ((I_1 - I_2) - E_n (K_2 - K_1)) / (P_2 + E_n),$$

где I_1 и I_2 — годовые издержки в сфере эксплуатации на единицу измерения по сравнительным вариантам, руб.; K_1 и K_2 — соответствующие капитальные вложения в сфере эксплуатации; P_2 — доля сметной стоимости трубопровода в расчете на 1 год их службы; E_n — единый нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для всех расчетов, принимается равным 0,15.

При рассмотрении срока службы трубопроводов из полимерных материалов по сравнению с заменяемыми исходят из расчета коэффициента изменения срока по формуле:

$$\varphi = (P_1 + E_n) / (P_2 + E_n),$$

где P_1 и P_2 — доли сметной стоимости трубопроводов в расчете на год их службы, величина которых определяется, как $E / ((1+E) T_c - 1)$, (T_c — срок службы новой техники, определяется по табл. 4.3).

Сравнимые варианты трубопроводов из различных видов труб должны быть сопоставлены по назначению и пропускной способности. Диаметр труб должен приниматься оптимальным для каждого вида труб.

Критерием экономической эффективности сравниваемых вариантов является минимум приведенных затрат.

Для выполнения технико-экономических расчетов используются показатели, полученные в результате выполненных научно-исследовательских работ и обследования действующих трубопроводных систем. Сроки службы технологических трубопроводов из пластмассовых труб зависят от многих факторов (температур, давления, вида

материалов). Их расчетные значения содержатся в Инструкции по проектированию технологических трубопроводов из пластмассовых труб СН 550–82, утв. постановлением Госстроя СССР от 22.04.1982 г. № 102.

Таблица 4.3

Коэффициент реновации

T_c	P	P + E _н	$\frac{1}{P + E_n}$	T_c	P	P + E _н	$\frac{1}{P + E_n}$
1	1	1,15	0,8696	11	0,054	0,204	4,902
2	0,4762	0,6262	1,5969	12	0,0468	0,1968	5,0813
3	0,3021	0,4521	2,2119	13	0,0408	0,1908	5,2411
4	0,2155	0,3655	2,736	14	0,0357	0,1857	5,385
5	0,1638	0,3138	3,1867	15	0,0315	0,1815	5,5096
6	0,1296	0,2796	3,5765	20	0,0175	0,1675	5,9701
7	0,1054	0,2554	3,9154	25	0,0102	0,1602	6,2422
8	0,0874	0,2374	4,2123	30	0,0061	0,1561	6,4062
9	0,0736	0,2236	4,4723	40	0,00226	0,15226	6,5677
10	0,0626	0,2127	4,7015	50	0,00036	0,15086	6,6287

Расчеты экономической эффективности применения трубопроводов из различных материалов, выполненные научно-исследовательскими институтами, позволили установить, что целесообразно применять трубы и детали трубопроводов из чугунных труб диаметром до 200 мм.

Вместе с тем отечественная и зарубежная практика показывает, что в особых условиях строительства и эксплуатации (например, трубопроводы прокладываются в морской воде, коррозионно-активных грунтах, для транспортирования агрессивных сред) использование труб может быть эффективно и по сравнению с трубами из других материалов диаметром 1000 мм и более.

При решении вопроса о замене труб из традиционных материалов пластмассовыми трубами необходимо учитывать, что это также связано с экономией энергоресурсов и на стадии производства, и в процессе эксплуатации смонтированных трубопроводов. Полные энергетические затраты включают все виды энергетических средств (электрической и

тепловой энергии, воды, холода, сжатого воздуха и т.д.) и топлива (жидкого, твердого и газообразного) на всех стадиях переработки исходного сырья и материалов.

Результаты расчетов показывают, что на изготовление труб из термопластов энергетических ресурсов затрачивается на 8...10 % меньше, чем на изготовление стальных, и на 25 % меньше, чем на изготовление чугунных труб. Пересчет энергозатрат на единицу приведенной длины стальных и пластмассовых труб показывает, что практически для всех видов металлических труб полные затраты на производство 1 т труб превышают аналогичные показатели для труб из термопластов.

Экономия энергозатрат при эксплуатации пластмассовых трубопроводов в сравнении с металлическими связана с зарастанием внутренних поверхностей водопроводов и водоотводов из стальных труб, которое вызывает дополнительные затраты электроэнергии. Как показала практика, величина дополнительных затрат на перекачку по трубопроводам с уменьшенной пропускной способностью увеличивает себестоимость 1 м³ воды на 25 % в основном из-за увеличения расхода электроэнергии и установки более мощных электродвигателей.

6. ОХРАНА ТРУДА И ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

При изготовлении узлов трубопроводов из полимерных материалов и их монтаже необходимо соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные СНиП 12–03–2001, СНиП 12–04–2002 «Безопасность труда в строительстве», ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования», ГОСТ 12.3.003–86 «Работы электросварочные. Общие требования безопасности», ГОСТ 12.2.003–91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

При работе на станочном оборудовании, с приспособлениями и инструментами необходимо также руководствоваться специальными инструкциями по их эксплуатации.

К монтажу и сварке трубопроводов из полимерных материалов допускаются лица не моложе 18 лет, предварительно прошедшие медицинское освидетельствование, специальное обучение, вводный инструктаж по технике безопасности, пожарной безопасности и инструктаж непосредственно на рабочем месте, а также сдавшие экзамены специальной комиссии. Допуск к производству работ оформляют записью в журнале инструктажа по технике безопасности и личной подписью получившего инструктаж.

Приступать к монтажу трубопроводов разрешается только при наличии Проекта производства работ. В отдельных случаях (для несложных объектов монтажа) указанный Проект может быть заменен технологической картой или указаниями по выполнению работ, в которых должны быть предусмотрены все вопросы техники безопасности.

Такелажные работы можно производить при помощи устройств и приспособлений, применяемых для монтажа стальных трубопроводов. При этом, учитывая меньшую массу труб из полимерных материалов, можно использовать такелажные устройства и приспособления более простой конструкции и меньшей грузоподъемности.

Производственный травматизм при сварке полимерных материалов может быть связан со следующими ситуациями:

- поражение электрическим током;
- действие выделяющихся при сварке аэрозолей и вредных газов;
- образование и загорание взрывоопасных смесей;
- ожоги; тепловое воздействие и др.

При работе с оборудованием для сварки пластмасс следует выполнять предписания по эксплуатации и безопасному обслуживанию сварочных установок, имеющих в инструкциях заводов-изготовителей.

При электрическом напряжении источника питания сварочных устройств выше 12 В для сырых помещений и 36 В — для сухих, возможно поражение электрическим током. Указанное поражение вызывает болезненное ощущение при силе тока 0,002...0,05 А и сильный тепловой удар — при силе тока 0,05...0,1 А.

Корпус любого источника питания устройств для сварки пластмасс и корпус любой сварочной установки необходимо надежно заземлить через заземляющий провод, присоединенный к болту диаметром 5...8 мм, расположенному в доступном месте сварочного оборудования с надписью «земля».

Оборудование для сварки трубопроводов и конструкций передвижного типа, защитное заземление которого затруднено, должно быть снабжено защитно-отключающим устройством (ЗОУ). Установки для сварки пластмасс, вспомогательные приборы и аппараты к ним, устанавливаемые вне помещений, должны быть выполнены в брызгопылезащитном исполнении. Все сварочные устройства, размещаемые внутри металлических и железобетонных емкостей, в колодцах, туннелях, должны быть оборудованы ЗОУ.

Сопротивление изоляции сварочных установок должно соответствовать правилам устройства электроустановок (ПУЭ), а также ГОСТ 12.2.007–75 «Система стандартов безопасности труда. Изделия электротехнические. Общие требования к безопасности».

Сопротивление изоляции оборудования измеряют при текущих ремонтах в соответствии с требованиями отраслевой нормативной документации или, если таковая отсутствует, в соответствии с ГОСТом на эксплуатируемое сварочное оборудование. Сроки текущих и капитальных ремонтов сварочного оборудования определяются исходя из местных условий и режима эксплуатации оборудования, а также инструктивных указаний завода-изготовителя. После капитального ремонта оборудования, его изоляцию проверяют на электрическую прочность. Профилактический осмотр и обслуживание сварочного оборудования и вспомогательной электроаппаратуры проводят не реже 1 раза в месяц.

Перед подключением установок и устройств для сварки пластмасс проводят их внешний осмотр для установления исправности, при этом особое внимание уделяется осмотру контактов и заземляющих проводников, изоляции рабочих проводов, проверке наличия и исправности защитных средств. Передвижные установки для сварки конструкций из пластмасс во время перемещения необходимо отключать от электросети.

Сварщики и вспомогательный персонал, обслуживающие оборудование для сварки пластмасс, должны в обязательном порядке применять средства индивидуальной защиты в соответствии с действующими типовыми нормами бесплатной выдачи спецодежды, спецобуви и предохранительных приспособлений. Для индивидуальной защиты от поражения электрическим током используют изолирующие клещи и штанги, изолированный инструмент, диэлектрические перчатки, диэлектрические боты и калоши, диэлектрические коврики, маты и подставки. Все перечисленные средства индивидуальной защиты периодически испытывают на пробой и маркируют в установленном порядке.

При сварке полиолефинов, поливинилхлоридов, пентапластов, фторопластов и других полимерных материалов выделяются вредные пары и газы. Полиэтилены низкого и высокого давления, а также пропилен выделяют при сварке монооксид углерода, непредельные углеводороды, органические кислоты, формальдегид. Поливинилхлорид выделяет хлористый водород, бензол и другие углеводороды. При сварке поливинилхлорида пластифицированного дополнительно выделяются пары пластификаторов. Пентапласт выделяет окись углерода, хлористый водород, формальдегид, хлорангидрид угольной кислоты.

Концентрация вредных паров, газов и пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений не должна превышать предельную допустимую, установленную требованиями ГОСТ 12.1.005–88 «Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования». Вредные вещества, выделяемые при переработке основных видов пластмасс, применяемых для изготовления труб и их предельно допустимая концентрация (ПДК) в воздухе рабочей зоны по ГОСТ 12.3.030–83 приведены в табл. 6.1.

При нарушении требований пожарной безопасности и длительном воздействии на организм человека паров и газов, выделяющихся при сварке, а также при работе с растворителями, возможны нарушения обмена кислорода и поражения центральной нервной системы.

При вдыхании продуктов термической деструкции полиэтилена происходит также раздражение верхних дыхательных путей с последующим развитием интоксикации. Высокие концентрации продуктов деструкции приводят к нарушению функции дыхания. Вдыхание продуктов термоокислительной деструкции полипропилена сопровождается раздражением слизистых оболочек глаз и верхних дыхательных путей, нарушением ритма дыхания, расстройством координации движения и повышением возбудимости нервной системы, вплоть до нарушений работы внутренних органов.

Таблица 6.1

Концентрация вредных веществ

Материал труб	Вредные вещества	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Полиэтилен	Формальдегид	0,5	2
	Оксись углерода	20	4
	Ацетальдегид	5	3
	Уксусная кислота	5	3
	Полиэтилен низкого давления (аэрозоль)	10	3
Полипропилен	Формальдегид	0,5	2
	Оксись углерода	20	4
	Нестабилизированный полипропилен (аэрозоль)	10	3
Поливинилхлорид	Дибутилфталат	0,5-1	2
	Диметилфталат	0,3	2
	Ди (2-этилгексил) фталат	1	2
	Хлористый водород	5	2
	Оксись углерода	20	4
Фторопласт	Поливинилхлорид (аэрозоль)	6	3
	Фтористый водород	0,05	1
	Оксись углерода	20	4
	Фторопласт-4 (аэрозоль)	10	3
	Перфторизобутилен	0,1	1

Газообразные продукты термоокислительной деструкции сополимера этилена с пропиленом оказывают раздражающее действие на слизистые оболочки глаз и дыхательных путей. Отравление летучими веществами, выделяющимися из поливинилхлорида (ПВХ), характеризуется раздражением слизистых оболочек, покраснением кожи, нарушением дыхания и исчезновением рефлексов. Длительное воздействие на организм рабочих паров хлористого винила приводит к развитию профессиональной интоксикации, токсических антоневрозов, сопровождающихся приступами головной боли.

Работа с растворителями требует аккуратности, так как нарушение правил работы, применяемых для очистки соединяемых при сварке поверхностей, может привести к поражению организма. Так, уайт-спирит может вызвать кожные заболевания, а при высокой его концентрации наступает потеря сознания. Длительное воздействие на организм человека паров этилового спирта приводит к заболеванию сердца, нервной системы и печени. Ацетон является наркотиком и вызывает раздражение слизистых оболочек глаз, носа и горла, всасывается через кожу, а при длительном воздействии поражает нервную систему.

При сварке в закрытых помещениях рабочие места сварщиков оборудуют местными отсосами. На участке сварки изделий из пластмасс предусматривают общеобменную приточно-вытяжную вентиляцию.

При подготовке изделий под сварку и сварке пластмасс для защиты от выделяемых вредных газов, пыли и паров применяют индивидуальные средства защиты. Для защиты органов дыхания используют респираторы и противогазы. При обработке деталей под сварку используют респираторы У-2К, ШБ-1 «Лепесток» или универсальный респиратор РУ-60, который также защищает от действия газов в небольших концентрациях; для этих же целей применяют фильтрующие противогазы.

При сварке внутри изделий из пластмасс при условии сильной загазованности (например, при обработке и сварке фторопласта), применяют изолирующие противогазы ПШ-1 и ПШ-2. Производственные помещения, где выполняются сборочно-сварочные работы конструкций из пластмасс, должны быть обеспечены первичными средствами пожаротушения и пожарным инвентарем. Набор и количество этих средств

пожаротушения должен соответствовать требованиям СНиП 12–03–2001, СНиП 12–04–2002 «Безопасность труда в строительстве», ГОСТ 12.1.004–91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

В местах производства работ с использованием труб из полимерных материалов, а также рядом с местами их складирования запрещается разводить огонь, производить электро- и газосварочные работы и хранить легковоспламеняющиеся вещества.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Методические указания к лабораторной работе «Определение влияния параметров режима сварки на качество сварных соединений пластмассовых труб»

Цель научно-исследовательской работы — исследовать зависимость качества сварного соединения, полученного с помощью устройства УСТП-110, от параметров режима сварки и выбрать оптимальный режим сварки.

Общие теоретические сведения

Соединения пластмассовых строительных деталей, также как и стальных, с помощью сварки — наиболее экономичный способ, обеспечивающий наибольшую прочность, герметичность и надежность по сравнению с клеевыми соединениями.

В настоящее время этот способ является важнейшей технологической операцией при монтаже пластмассовых конструкций. Термопластичные пластмассы могут многократно размягчаться при нагреве и вновь затвердевать при охлаждении, если нагрев не превышает предела разложения материала.

Сваркой пластмасс называется технологический процесс получения неразъемного соединения за счет диффузии молекул материала, приводящий к исчезновению границы раздела.

Для того чтобы свариваемые кромки сблизилась на очень малые расстояния, их нагревают до пластического состояния (иногда до частичного расплавления) и сдавливают.

Одним из многих способов сварки пластмасс является сварка нагретым инструментом. Сущность этого способа заключается в том, что свариваемые детали в месте соединения нагревают до температуры вязко-текучего состояния специальными инструментами-нагревателями, передающими тепло свариваемым поверхностям при контакте с ними.

После разогрева свариваемых поверхностей нагреватель выводят из зоны соединения и под действием давления детали свариваются. Такой способ нагрева называют контактным. Этот способ сварки применяется для соединения большинства термопластичных материалов: полиэтилена (табл. 1), полиизобутилена, полистирола, полипропилена, фторопласта и др.

Прочность сварных соединений высокая, она составляет 90...100 % от прочности основного материала.

Таблица 1

Физические и технические характеристики полиэтилена

№ п/п	Характеристики	ПВД	ПНД
1	Плотность (при 20 °С), г/см ³	0,910...0,932	0,933...0,96
2	Прочность на растяжение (при 20 °С), МПа ($\frac{кгс}{мм^2}$)	10...18 (1...1,8)	19...21 (1,9...2,1)
3	Температура размягчения, °С	112...115	127...130
4	Максимально допустимая температура эксплуатации (при отсутствии давления), °С	60	80...100
5	Температура хрупкости, °С	–50	–30

Техническим требованиям к свойствам сварного соединения соответствует сварка в оптимальном режиме.

Нарушение режима сварки может вызвать в сварном соединении появление дефектов и снижение его механических свойств. Параметрами режима сварки полиэтиленовых труб являются:

1. Температура нагревательного инструмента для оплавления торцов труб (190...230 °С);
2. Оплавление торцов труб нагревательным инструментом в два этапа:
 - первый — оплавление при давлении 0,1...0,15 МПа до определенной величины валика (см. табл. 2);
 - второй — оплавление при сниженном давлении 0,01...0,05 МПа;
3. Технологическая пауза (время, за которое отводится нагревательный инструмент, до момента осадки, 4...6 с);
4. Время подъема давления осадки до заданного значения, 4...7 с;
5. Время охлаждения сварного соединения под давлением осадки, 6...24 мин.

Показатели оплавления при давлении 0,1...0,15 МПа

Толщина стенки труб, мм	Высота* валика, мм	Длительность 2-го этапа оплавления, с	Техно- логи- ческая пауза, с	Время подъема давления, с	Время охлаждения под давле- нием осад- ки, мин
4...7	0,5	30...70	4	4	4...10
8...12	1,0	65...135	5	6	7...16
13...18	4...7	105...175	6	7	24

* — после 1-го этапа оплавления

Давление при оплавлении к осадке, обеспечиваемое центраторами сварочных устройств, рассчитывают по формуле:

$$F = K(D - S)S,$$

где F — усилие, кГс; K — давление, учитывающее угол скоса, кГс/см² (табл. 3); D — наружный диаметр трубы, см; S — толщина стенки, см.

Таблица 3

Давление при учете угла скоса

α		0°	15°	22,5°	45°
К, Гс/см ²	ПВД	3,14	3,25	3,40	4,44
	ПНД	4,71	4,88	5,10	6,66

Описание устройства УСП-110 для сварки полиэтиленовых труб диаметром от 16 до 110 мм.

Устройство предназначено для работы в условиях монтажа технологических трубопроводов наружных коммуникаций и состоит из центратора, фрезы, электронагревателя, комплекса сменных частей, инструмента и принадлежностей.

Центратор (рис. 1) предназначен для закрепления свариваемых трубных образцов и создания необходимого усилия сварки. Он состоит из неподвижного (1), подвижного (2) корпусов, ручного привода (3) и направляющих (4).

Фреза предназначена для торцовки свариваемых труб перед нагревом. Нагреватель (6) предназначен для нагрева торцов свариваемых труб, он состоит из зеркала (7), корпуса и регулятора температуры.

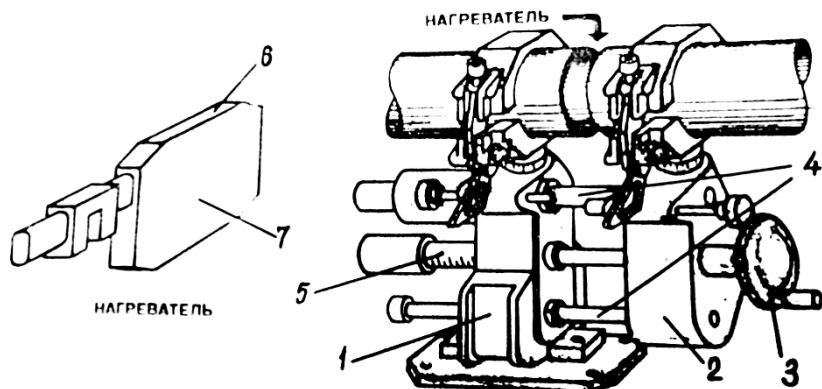


Рис. 1. Центратор:

1 — неподвижный корпус; 2 — подвижный корпус; 3 — ручной привод;
4 — направляющие; 5 — втулка; 6 — нагреватель; 7 — зеркало нагревателя

Технология сварки полиэтиленовых труб включает:

- подготовку кромок под сварку;
- сварку труб;
- пооперационный контроль.

Последовательность операций такова:

- закрепление труб, подлежащих сварке, в центраторе с помощью зажимного устройства;
- торцовка труб с помощью фрез. Поскольку при стыковой сварке внутри труб возникает нежелательный наплыв, свариваемые концы труб подготавливают так, как это показано на рис. 2. После торцовки труб фреза убирается из рабочей зоны центратора;
- нагрев торцов труб с помощью нагревателя при заданном усилии до образования необходимого грата. Затем давление снимают и после выдержки времени при некотором нагреве труб их раздвигают, нагреватель убирают, а сварку осуществляют путем сближения торцов труб при вращении маховика (3). При этом по шкале на втулке (5) (рис. 1) создается необходимое усилие для сварки, при котором свариваемые трубы выдерживаются в сжатом состоянии. После сварки изделие удаляется из центратора.

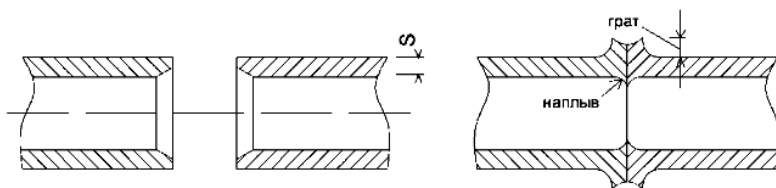


Рис. 2. Подготовка концов труб

Основные требования безопасности

- не допускается прикосновение руками к зеркалу работающего электронагревателя, т.к. это может привести к ожогам;
- не допускается превышение температуры нагревательного инструмента свыше 250 °С во избежание интенсивного выделения токсичных газообразных продуктов разложения полиэтилена;
- места сварки должны быть оборудованы приточно-вытяжной вентиляцией, обеспечивающей уменьшение уровня загазованности ниже предельно допустимой концентрации (ПДК). Перечень и ПДК вредных веществ, выделяющихся при сварке труб из полиэтилена, приведены в табл. 4.

Таблица 4

Вредные вещества, выделяющиеся при сварке труб из полиэтилена

Наименование веществ	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
Оксид углерода	20	4
Формальдегид	0,5	2
Дивинил (1,3 бутадиен)	100	4

Применяемые материалы, оборудование и инструмент

- 1) полиэтиленовые трубные образцы — 6 шт.;
- 2) устройство для сварки пластмассовых труб УСПП-110;
- 3) машина для испытания образцов на изгиб;
- 4) напильник, шабер, линейка, штангенциркуль, ножовка.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Изучить по методическим указаниям основные теоретические положения и заполнить п. 1 Отчета.

2. Изучить конструкцию и работу устройства УСТП-110.

3. Подготовить образцы из полиэтиленовых труб:

- осуществить резку на мерные заготовки;
- произвести торцовку свариваемых поверхностей;
- произвести очистку концов труб от загрязнения;
- если необходимо, произвести скос свариваемых кромок.

4. После установки трубных образцов в хомутах сварочного устройства производят их торцовку непосредственно перед сваркой (при необходимости произвести скос кромок).

5. Осуществить пооперационный контроль качества подготовки торцов труб перед сваркой: торцы труб должны быть параллельными, зазор между подготовленными к сварке торцами труб, измеренный с помощью лепесткового щупа, не должен превышать 0,5 мм для диаметров до 110 мм, 0,7 мм — для диаметров до 400 мм и 1,0 мм — для больших диаметров.

Смещение соединяемых торцов труб, установленных в центраторе сварочного устройства, не должен превышать 10 % от толщины стенки.

6. Выбрать значения параметров ориентировочного режима сварки полиэтиленовых труб по табл. 2, сварить, оценить качество соединения, определить размеры грата сварного шва (рис. 2), испытать образцы на изгиб и заполнить п. 3 Отчета.

7. Исследовать влияние одного из параметров режима сварки (по усмотрению преподавателя) на качество сварного соединения и размеры грата сварного шва.

8. Заполнить п. 4 Отчета и подобрать оптимальный режим сварки.

9. Сформулировать выводы по лабораторной работе (п. 5 Отчета):

10.1. Указать условия эксперимента и результаты его проведения.

10.2. Описать характер изменения α , K , F и результатов испытания на изгиб в зависимости от исследуемого параметра режима сварки.

11. Защитить лабораторную работу и получить подпись преподавателя.

Оформление отчета

Отчет по лабораторной работе

«Определение влияния параметров режима сварки на качество сварных соединений пластмассовых труб»

Студента _____

курс _____ группа _____

Цель _____

1. Основные теоретические сведения:

1.1. Указать, в чем сущность сварки конструкций из термопластичных материалов.

1.2. Зарисовать технологическую цепочку (согласно технологического процесса сварки) получения соединения полиэтиленовых труб.

1.3. Перечислить параметры режима сварки (контактной стыковой) полиэтиленовых труб.

1.4. Перечислить основные элементы (узлы) устройства УСП-110.

1.5. Указать, что входит в пооперационный контроль и контроль качества сварных соединений (приложение), выполненных контактной стыковой сваркой полиэтиленовых труб.

1.6. Перечислить основные требования по охране труда при сварке полиэтиленовых труб.

2. Условия сварки трубных образцов (табл. 2)

3. Таблица размеров грата сварного шва и результатов испытаний образцов на изгиб (см. таблицу и приложение)

Эскиз сварного шва	Неизменяемые параметры режима сварки	Изменяемые параметры режима сварки	Испытания на изгиб
--------------------	--------------------------------------	------------------------------------	--------------------

4. Графики зависимости размеров грата от изменяемого параметра режима сварки.

5. Общие выводы.

5.1. Описать характер изменения размеров грата, результатов испытаний на изгиб и качество сварного соединения.

5.2. Предложить оптимальный режим сварки (см. приложение и результаты испытаний).

Подпись преподавателя

“ ” _____ г.

Контрольные вопросы

1. В чем сущность получения неразъемного соединения при сварке пластмасс?

2. Из каких основных узлов (элементов) состоит устройство УСТП-110?

3. Какие виды контроля применяются для оценки качества сварных соединений пластмассовых труб?

4. Перечислите параметры режима сварки полиэтиленовых труб с помощью устройства УСТП-110.

5. Что такое оптимальный режим сварки полиэтиленовых труб?

6. Перечислите этапы технологического процесса сварки полиэтиленовых труб.

7. Какие основные требования необходимо соблюдать по технике безопасности?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вопросы атомной науки и техники. Сер.: Сварка в ядерной технологии: сборник. М. : Изд-во НИИАтоминформ, 1988. 42 с.
2. Зайцев, К.И. Сварка пластмасс при сооружении объектов нефтяной и газовой промышленности / К.И. Зайцев. М. : Недра, 1984. 224 с.
3. Сварка полимерных материалов: справочник / под общей редакцией К.И. Зайцева, Л.Н. Мацюк. М. : Машиностроение, 1988. 312 с.
4. Сварка полиэтиленовых трубопроводов при помощи фитингов с закладными нагревателями: учебно-методическое пособие. М. : УПЦ «Форгаз», 2002. 13 с.
5. Удовенко, В.Е. Полиэтиленовые трубопроводы. Это просто / В.Е. Удовенко, И.П. Сафронова, Н.Б. Гусева. М. : ЗАО «Полимергаз», 2003. 237 с.
6. Ялышко, Г.Ф. Сварка и монтаж трубопроводов из полимерных материалов / Г.Ф. Ялышко. М. : Стройиздат, 1990. 223 с.