

## Технология сварки плавящим газом

---

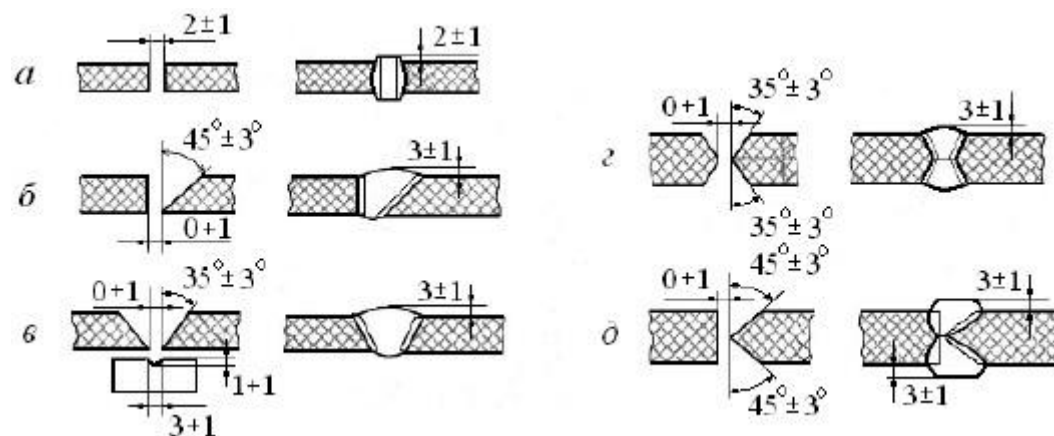
Сварку плавящим газом применяют для получения практически всех видов сварных соединений: стыковых, нахлесточных, угловых и тавровых. Типы швов, условные обозначения и размеры конструктивных элементов регламентированы ГОСТ 16310-70.

**Стыковые швы без разделки кромок** (рис.2.7, а) выполняют в основном при сварке листов или труб толщиной менее 4 мм. Между деталями необходим зазор 1-1,5 мм для лучшего заполнения сварного шва присадочным материалом, т.е. для лучшего провара по всей высоте шва.

Сварку листов толщиной до 2 мм следует производить без зазора, чтобы уменьшить вероятность коробления листов. С этой же целью для сварки тонких листов используют текстолитовые прокладки, к которым листы прижимают с помощью струбцин или специальных приспособлений.

Сварку без разделки лучше проводить с двухсторонним наложением швов, обеспечивающим полный провар по всему сечению.

**Стыковые швы с разделкой кромок** (рис.2.7, б - д) применяют при толщине деталей от 4 до 20 мм. Обработка кромок выполняется фрезерованием, строганием, опиловкой. Используются одно- (рис.2.7, б) и двухсторонняя (рис.2.7, в) V-образная, а также X-образная разделка (рис.2.7, г, д) без притупления кромок. Оптимальный угол раскрытия кромок лежит в пределах  $50-90^\circ$  и зависит от толщины и материала листов. Для листов толщиной 4-10 мм он составляет  $70^\circ$ , а для листов толщиной свыше 12 мм -  $60^\circ$  и меньше. Зависит угол раскрытия кромок и от свариваемого материала.



**Рис.2.7. Конструкции сварных стыковых соединений**

Большие углы раскрытия создают удобства для работы и уменьшают возможность непроваров, но увеличивают объем, заполняемый присадочным материалом (меньше производительность, больше деформации).

X-образная разделка предпочтительнее, чем V-образная. Уменьшаются расход присадочного материала в 1,6-1,7 раза и величина сварочных деформаций.

**Тавровые и угловые соединения.** При толщине вертикального элемента менее 4 мм тавровые соединения выполняются без разделки кромок, а при толщине 4-20 мм с одно- или двухсторонней разделкой.

Угловые соединения, используемые при сварке днищ, крышек, фланцев и т.п., выполняются только с разделкой кромок. Это позволяет избежать непроваров вершины шва.

**Нахлесточные соединения** применяют редко ввиду меньшей механической прочности таких швов при растягивающих и изгибающих нагрузках. Прочность таких соединений в несколько раз меньше прочности соединений встык.

Основные технологические параметры режима сварки:

- температура и расход газа;
- материал, диаметр и форма сечения присадочного прутка;
- угол наклона прутка при укладке в разделку;
- давление, прикладываемое к прутку;
- угол наклона нагревателя (горелки) к плоскости свариваемого материала;
- скорость сварки.

Температура газа на выходе из сопла горелки обычно на 50-100 °С выше температуры вязкотекучего состояния свариваемых термопластов. Повышение температуры необходимо для компенсации потерь тепла газовой струи между соплом наконечника и поверхностью сварного шва, расстояние между которыми следует поддерживать постоянным и равным 5-8 мм.

Расход нагретого газа устанавливают обычно для горелок косвенного действия и с электронагревом - 1-2 м<sup>3</sup>/ч, а для горелок прямого действия 1-3,5 м<sup>3</sup>/ч. Малые расходы снижают производительность и приводят к непроварам.

Присадочный материал обычно выбирают того же состава, что и свариваемый материал. Часто пользуются прутками с добавками пластификаторов (для снижения вязкости). Однако такие прутки не следует применять при сварке изделий, работающих в агрессивных средах и при повышенной температуре, т.к. в процессе эксплуатации может происходить постепенное разрушение и выкрашивание пластификатора.

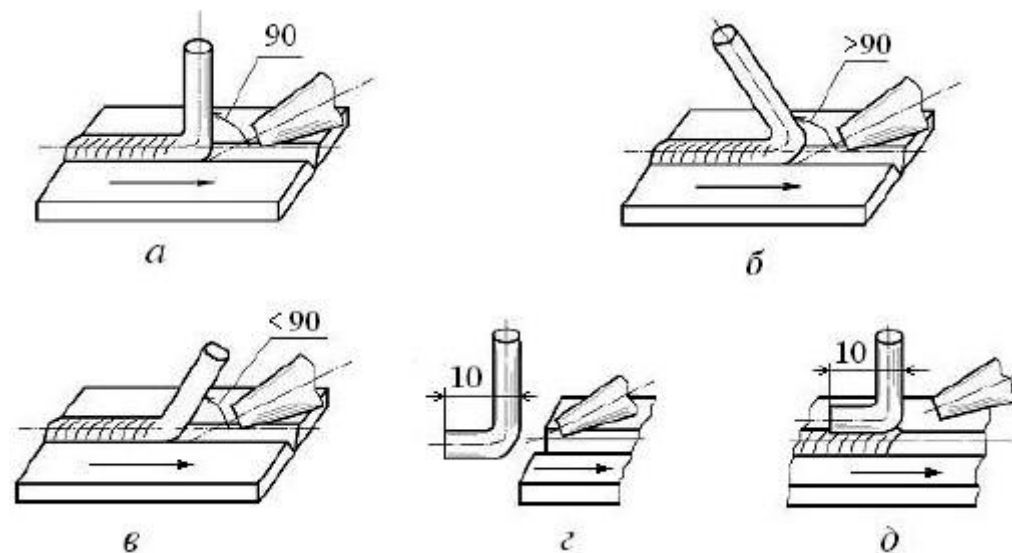
В некоторых случаях (например, при сварке полиметилметакрилата), когда интервал вязкотекучего состояния очень мал и велика вероятность деструкции, сварку выполняют прутками другого состава, например, прутками из пластифицированных прозрачных составов поливинилхлорида.

Для сварки нагретым газом выпускают прутки диаметром 2-6 мм, а также спаренные прутки в виде лент размером 2х3 мм. Следует стремиться выполнять шов меньшим числом прутков большего диаметра. Число проходов может быть уменьшено за счет применения профильных прутков с размерами, соответствующими размерам разделки. Перед сваркой прутки зачищают наждачной бумагой или циклевкой, что повышает прочность соединения.

Положение сварочного прутка и сопла горелки по отношению к поверхности шва существенно влияет на получение плотного и ровного шва с достаточной прочностью.

При угле наклона присадочного прутка больше  $90^\circ$  (рис.2.8, б) усилие давления на пруток раскладывается на две составляющие. Под действием горизонтального усилия прутки, уложенный в шов, удлиняется (при охлаждении может лопнуть). Так сваривают поливинилиденхлорид и полипропилен. При угле наклона меньше  $90^\circ$  (рис.2.8, в) пруток разогревается быстрее основного материала и на участке большей длины. Расход прутка увеличивается из-за его осадки при укладке в шов. При этом в шве возникают внутренние напряжения из-за продольного сжатия, и пруток изгибается с образованием на его поверхности волны. Прочность сцепления прутка с кромками уменьшается, и его можно легко отделить. Кроме того, при этом снижается скорость сварки. При сварке полиэтилена низкой плотности, пластифицированного поливинилхлорида и полиизобутилена прутки наклоняют под углом  $45 - 50^\circ$ . Под прямым углом (рис.2.8, а) прутки держат при сварке непластифицированного поливинилхлорида, полиметилметакрилата, полиэтилена высокой плотности и др.

Перед сваркой прутки нагревают, отгибают под прямым углом и охлаждают на воздухе. Перед началом сварки прутки устанавливают на расстоянии 10-15 мм от начала шва (рис.2.8, г). При смене прутка отогнутую часть нового прутка укладывают на конец прерванного шва с перекрытием 10 мм (рис.2.8, д). Угол наклона продольной оси мундштука горелки к плоскости изделия вначале сварки должен быть  $55-65^\circ$ , а в процессе сварки уменьшается до  $45^\circ$ . Струя газа в течение большего времени должна быть направлена на основной материал, масса которого больше, чем масса присадочного материала. Манипулируя горелкой, сварщик направляет поток то на присадочный материал, то на основной.



**Рис.2.8. Положение присадочного прутка и горелки при сварке**

Давление на присадочный пруток выбирают в зависимости от диаметра и материала прутка, применяемого в качестве присадочного материала. Усилие прижима в процессе сварки должно оставаться постоянным и для предотвращения чрезмерного его удлинения должно быть небольшим и составлять  $0,05d$  (в ньютонах), где  $d$  – диаметр прутка (в миллиметрах).

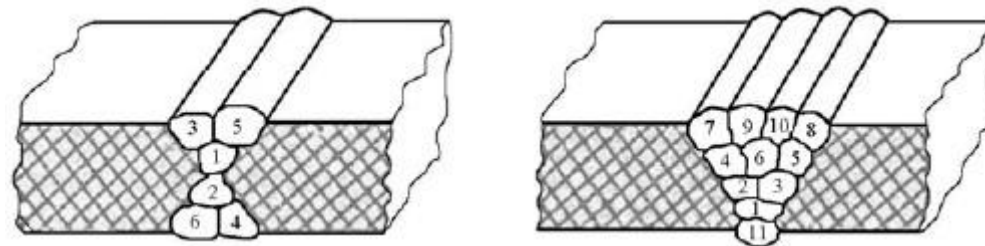
Скорость сварки зависит от толщины и типа свариваемого материала, температуры нагрева присадочного и основного материалов и составляет 4-15 м/ч. Для увеличения производительности процесса целесообразно применять предварительный подогрев присадочного и основного материалов.

Порядок укладки прутков при сварке зависит от толщины материала и формы разделки кромок.

Материал толщиной 1-2 мм сваривают за один проход. При толщине более 2 мм сварку выполнить за один проход не удастся. Швы накладывают последовательно, обращая особенное внимание на приварку первого

валика в основании корня шва и применяя для этого прутки меньшего диаметра, чем при сварке последующих проходов.

На рис.2.9 показана последовательность заполнения разделки (укладки швов) при выполнении V- и X-образных соединений. Для первого шва часто берут прутки диаметром 2-3 мм. Для последующих - больше 3 мм. Такая технология исключает появление трещин в швах при сварке изделий большой толщины и в узлах большой жесткости.



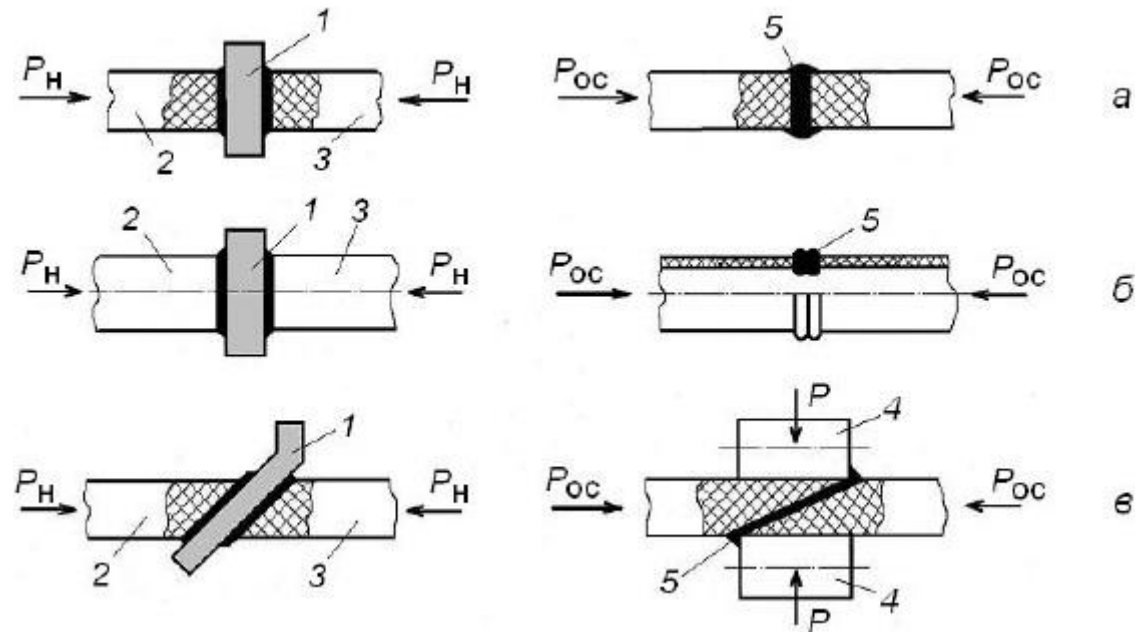
**Рис.2.9. Последовательность укладки присадочного прутка при сварке**



## Сущность и схемы сварки пластмасс нагретым инструментом

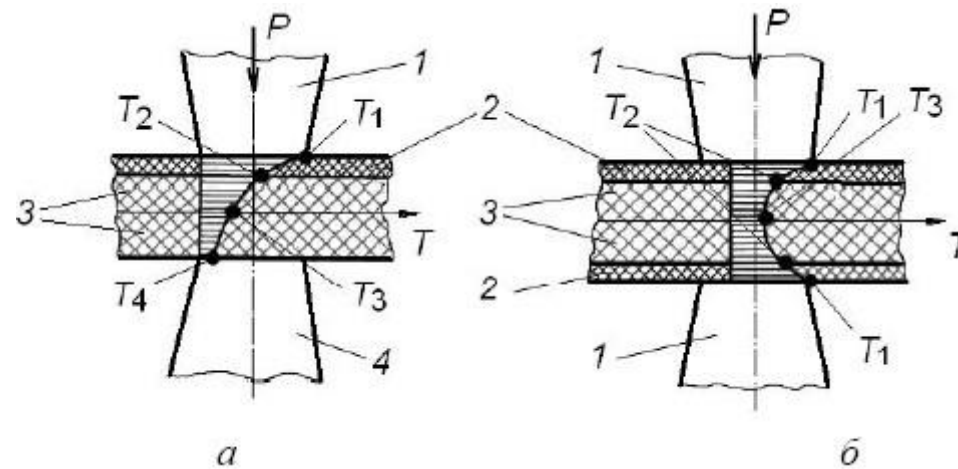
Подвод тепловой энергии, необходимой для сварки термопластов, наиболее просто может быть осуществлен за счет контакта свариваемых деталей с нагретым инструментом. Вид сварки, основанный на этом принципе, чаще всего называют сваркой нагретым инструментом. Встречаются другие названия этого способа сварки – контактно-тепловая или термоконттактная сварка. В контакт с нагретым инструментом можно вводить как поверхности, подлежащие сварке, так и внешние поверхности деталей.

В первом случае (рис.4.1) нагрев поверхностей, подлежащих сварке, до температур сварки осуществляется за счет теплоотдачи от плотно поджатого к ним нагретого инструмента. Такую схему называют сваркой прямым нагревом или сваркой оплавлением.



**Рис.4.1. Схемы сварки прямым нагревом нагретым инструментом: а - сварка стержней встык; б – сварка труб встык; в – сварка соединения «на ус»: 1 - нагретый инструмент; 2, 3 - свариваемые детали; 4 – прижимные ролики; 5 – сварной шов; слева – нагрев; справа – осадка;  $P_H$  – давление при нагреве;  $P_{OC}$  – давление при осадке.**

Во втором случае (рис.4.2) нагрев поверхностей, подлежащих сварке, осуществляется за счет теплопроводности слоя термопласта, расположенного между соединяемыми поверхностями и поверхностями, контактирующими с нагретым инструментом. Такую сварку называют сваркой косвенным нагревом или сваркой проплавлением.



**Рис.4.2. Схемы сварки нагретым инструментом косвенным нагревом нахлесточных соединений при одностороннем (а) и двустороннем (б) подводе тепловой энергии: 1 – нагретый инструмент; 2 – прокладка; 3 – свариваемые детали; 4 – холодный инструмент;  $T_1$ – $T_4$  – распределение температур по толщине деталей;  $P$  – усилие сжатия.**



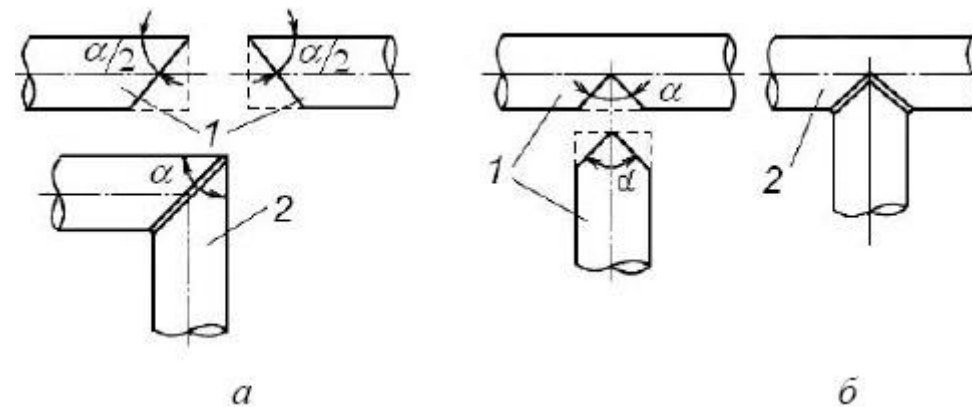
## Сварка пластмасс прямым нагревом

Способ сварки прямым нагревом нашел широкое применение благодаря простоте технологического процесса, оборудования и оснастки. Способ не требует высокой квалификации рабочего. Его используют для изготовления пластмассовых трубопроводов различного назначения, емкостей из формованных деталей, деталей машин, рамных конструкций из профилей т.п. Наиболее просто таким методом получают стыковые сварные соединения стержней, труб, плит, профилей из полиэтилена, пропилена и поливинилхлорида толщиной 2-20 мм (рис.4.1), а также угловые соединения при изготовлении соединительных деталей пластмассовых трубопроводов (отводов, тройников, крестовин и т.п.) из пластмассовых труб диаметром 63-110 мм (рис.4.3).



Прямой характер нагрева свариваемых поверхностей в рассмотренных примерах предопределяет прерывистость процесса. Процесс включает три этапа:

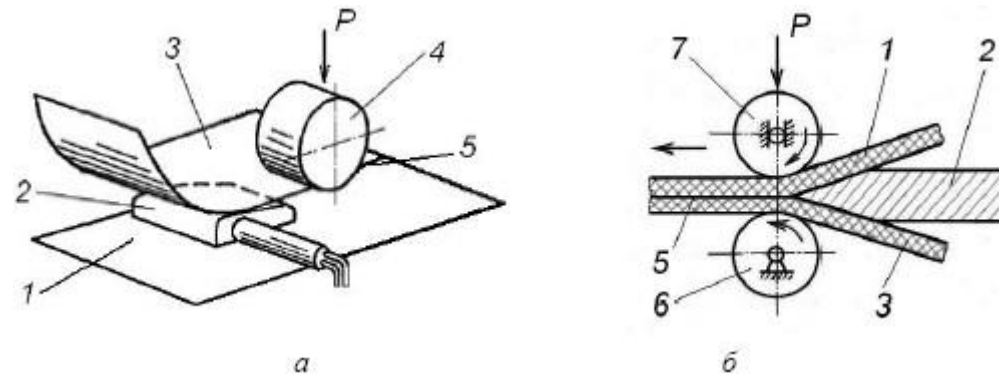
- разогрев или оплавление поверхностей, подлежащих сварке (стыкуемых кромок);
- технологическая пауза, необходимая для удаления или перемещения из зоны сварки нагретого инструмента;
- осадка свариваемых деталей путем приложения давления и выдержка под давлением до достижения необходимой температуры охлаждения.



**Рис.4.3. Сварка труб при угловом соединении (а) и при изготовлении тройников (б): 1 – свариваемые детали; 2 – готовые изделия**

Сварка нахлесточных соединений из листовых эластичных термопластов и пленок прямым нагревом может выполняться непрерывно (рис.4.4). На рис.4.4, а показана схема непрерывной сварки пленок, уложенных внахлестку, между которыми вручную перемещается наконечник нагретого инструмента, выполненного в виде клина. Контакт клина с внутренними поверхностями пленок приводит к их разогреву до температуры сварки. Сварной шов образуется за счет прижатия разогретых поверхностей друг к другу роликом, следующим вслед за инструментом. Такая схема сварки получила название сварки нагретым клином.

Ручная сварка нагретым клином применяется для соединения пленок толщиной не менее 500 мкм. При меньшей толщине пленок трудно, разогрев соединяемые поверхности, не продавить верхнюю пленку прижимным роликом. Для сварки пленок толщиной до 150 мкм следует применять механизированную сварку, при которой осуществляют механизированное перемещение инструмента или свариваемого материала. Большое распространение получила схема сварки неподвижным нагретым клином с механизированной подачей свариваемого материала роликами (рис.4.4, б). При толщине пленок менее 150 мкм хорошее соединение таким способом получить не удастся, так как при скольжении по нагревателю пленки размягчаются по всей толщине, теряют форму или прилипают к инструменту и вращающимся роликам.



**Рис.4.4. Схемы сварки нагретым клином с ручным перемещением инструмента (а) и с механизированной подачей свариваемых пленок (б): 1, 3 – свариваемые пленки; 2 – нагретый клин; 4– прижимной ролик; 5– сварной шов; 6,7 – подающие ролики;  $P$  – усилие прижатия**

Основные технологические параметры при сварке деталей прямым нагревом:

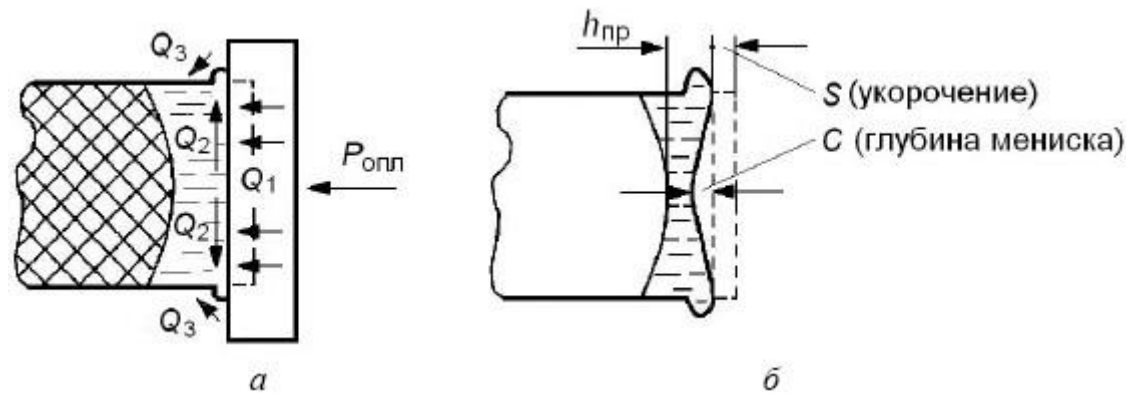
- температура нагревателя –  $T_H$ ;
- продолжительность нагрева –  $t_H$ ;
- усилие прижатия инструмента к детали (давление оплавления) –  $P_{опл}$ ;
- давление осадки –  $P_{ос}$ ;
- продолжительность выдержки под давлением после сварки –  $t_{охл}$ .

Иногда указывают скорость оплавления  $V_{оп}$ , скорость осадки  $V_{ос}$  и величину осадки  $\Delta_{ос}$ .

При сварке оплавлением пленок основными технологическими параметрами являются температура горячего клина  $T_n$ , скорость его перемещения, равная скорости сварки  $V_{св}$ , и усилие  $P$  прижатия роликом нахлестки. От правильного выбора технологических параметров в значительной степени зависят кинетика тепловых и реологических процессов, структурных превращений в шве и околошовной зоне, возникновения и развития полей собственных напряжений и их релаксации.

При контактной сварке оплавлением деталей из термопластов (труб, листов, профильных изделий) встык нагревательный инструмент вводят в непосредственный контакт с кромками заготовок, подлежащих сварке. В процессе нагрева происходит оплавление (укорочение) детали на некоторую величину  $S$  (рис.4.5) в связи с тем, что часть расплавленного материала под давлением инструмента вытекает из зоны контакта.

Оплавление необходимо для равномерного прогрева торцов свариваемых стержней на определенную глубину. Для обеспечения эффективности такого прогрева необходимо обеспечить плотный контакт свариваемых торцов стержней с нагретым инструментом. Это достигается оплавлением микронеровностей и удалением образующегося при этом расплава под действием давления. Эти процессы протекают тем быстрее, чем выше температура инструмента и давление и чем ниже вязкость расплава. Во время установления такого контакта основная часть тепловой энергии затрачивается на оплавление микронеровностей, а слои, удаленные от торцов, практически не разогреваются. Это время называют инкубационным периодом оплавления. Эту стадию оплавления необходимо проводить при максимальном давлении 0,05-0,08 МПа.



**Рис.4.5. Оплавление поверхности перед сваркой: а – изотерма плавления и образование первичного грата при нагреве; б - форма оплавленной поверхности после удаления нагревателя**

Скорость продвижения теплового фронта с температурой, равной температуре перехода пластмассы в вязкотекучее состояние (изотермы плавления), называется скоростью проплавления, а глубина продвижения изотермы плавления – глубиной проплавления  $h_{\text{опл}}$  (рис.4.5, б).

При оплавлении плоских кромок плоским нагревателем тепловой фронт, распространяющийся внутрь нагреваемой детали, не параллелен нагревателю. В соответствии с этим линия границы проплавления также не линейна, а имеет параболическую форму (рис.4.5, а). Асимметрия теплового потока на оплавленном торце обусловлена тем, что к краям торцов поступает не только энергия от линейного теплового потока ( $Q_1$ ) непосредственно от нагретого инструмента. Туда же поступает энергия из внутренних областей (поток  $Q_2$ ) с вытекающим в первичный грат расплавом и энергия теплового излучения (поток  $Q_3$ ) от участков инструмента, выступающих за пределы торцов. Кривизну зоны проплавления можно уменьшить путем охлаждения кромок вблизи нагреваемых торцов.

После окончания инкубационного периода скорость проплавления интенсивно возрастает, достигая максимальной величины, после чего между скоростью проплавления и скоростью оплавления (укорочение стержня) наступает равновесие. Процесс переходит в квазистационарный. Эффективность нагрева при квазистационарном процессе минимальна, так как глубина проплавления практически перестает расти.

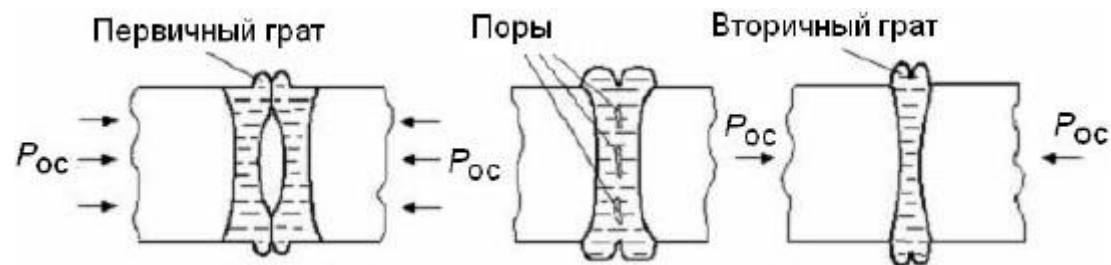
Дальнейший нагрев деталей уже не имеет смысла, т.к. расплавленный полимер будет весь эвакуироваться в грат, а  $h_{пр}$  больше не увеличивается. Для уменьшения количества первичного грата, т.е. объема вытекающего в грат расплава, в процессе нагрева по мере оплавления необходимо уменьшать давление. Давление должно обеспечивать лишь контакт инструмента с расплавом, необходимый для теплопередачи за счет теплопроводности. Для получения максимальной глубины проплавления с минимальным первичным гратом, незначительной кривизной зоны проплавления и серповидностью оплавленного торца вторую стадию оплавления следует проводить при плавном уменьшении давления до 0,005-0,01 МПа.

После отрыва нагретого инструмента от оплавляемого торца кромки приобретают серповидную форму (рис.4.5, б). Это необходимо учитывать при выборе технологических параметров режимов оплавления и осадки. Серповидность обусловлена неравномерностью распределения тепловых деформаций, а также адгезией расплава к инструменту. Глубина серповидности увеличивается с увеличением длительности нагрева и толщины стенки детали.

Сварку прямым нагревом (оплавлением) выполняют либо в режимах, исключающих деструкцию полимера при оплавлении, т.е. сварочный инструмент имеет температуру, незначительно превышающую температуру текучести свариваемых материалов, либо инструмент нагревается на 100 – 150 градусов выше температуры текучести, но при этом продолжительность оплавления резко сокращается.

**Пауза**, необходимая для удаления инструмента, равна времени перехода от этапа оплавления к этапу осадки. За это время расплавленные торцы не должны сильно переохладиться. Кроме того, при длительной паузе интенсивно развивается процесс термоокислительной деструкции, начавшийся при контакте торцов с инструментом. Этот процесс сопровождается выделением газов. В связи с этим продолжительность паузы не должна превышать 1-3 с в зависимости от типа сварочной установки, её привода и геометрии изделия.

**Осадка** обеспечивает непосредственный физический контакт оплавленных кромок и взаимодействие макромолекул по поверхности свариваемых деталей. Возникновению межмолекулярного взаимодействия могут препятствовать пузырьки воздуха, захваченные расплавом полимерного материала, окисленный поверхностный слой, а также различные загрязнения.

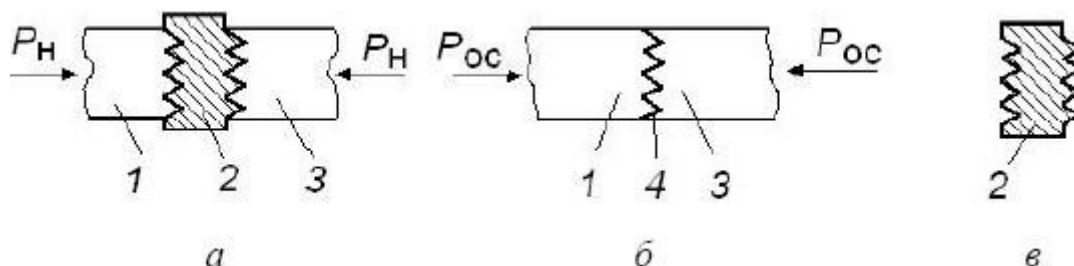


**Рис.4.6. Схема захвата воздуха при стыковке торцов на этапе осадки**

На рис.4.6 показано, как происходит захват воздушного пузыря при соединении серповидных торцов. Удаление воздушных прослоек, продуктов термоокислительной деструкции и других загрязнений возможно только при развитом течении расплава за зону сварки с образованием вторичного грата.

Для этого давление должно быть снова повышено и обеспечена необходимая скорость осадки. Однако при больших скоростях осадки упругие напряжения, возникающие в расплаве, могут достигать больших значений. После осадки во избежание появления поля собственных напряжений стык необходимо выдержать под давлением до его естественного охлаждения и релаксации напряжений.

Однако течение вдоль стыка приводит к ориентации макромолекул после охлаждения также вдоль стыка, т.е. перпендикулярно направлению приложения эксплуатационной нагрузки. Такая ориентация наряду с неполным вытеснением газовых прослоек и загрязнений снижает прочность сварных соединений. Этого недостатка в некоторой степени можно избежать, применяя вместо плоского профилированный инструмент (рис.4.7).



**Рис.4.7. Схема сварки встык нагретым профилированным инструментом: а– нагрев кромок; б – осадка; в – инструмент; 1, 3 – соединяемые детали; 2 – инструмент; 4 – шов;  $P_H$  – давление нагрева;  $P_{ос}$  – давление осадки**

Благодаря увеличению площади контакта можно получить сварное соединение, равное по прочности основному материалу. Эту же цель преследует применение



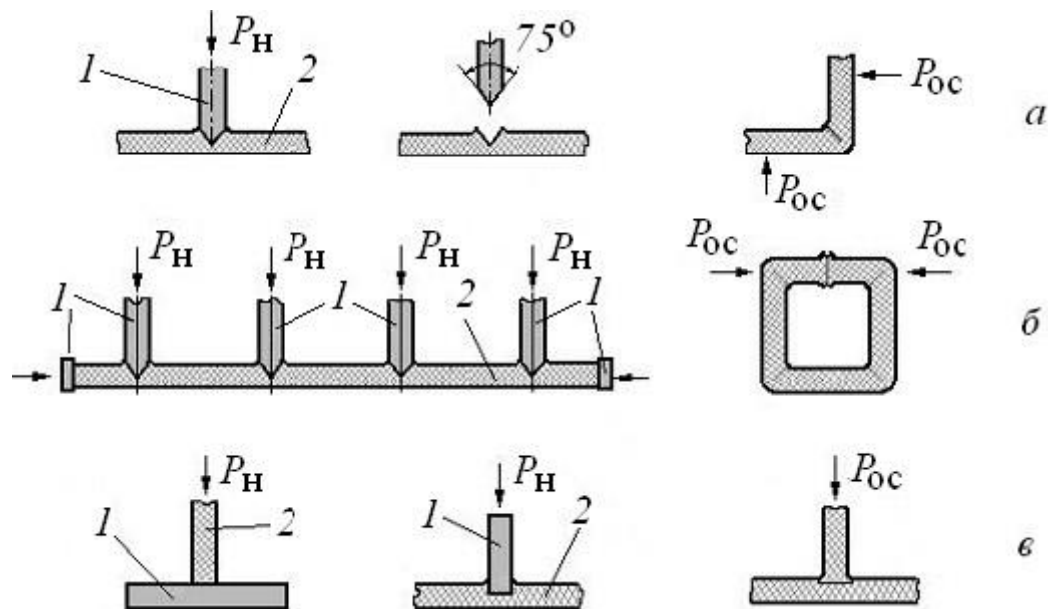
## Разновидности сварки пластмасс прямым нагревом

---

Этим методом из листовых заготовок могут быть изготовлены изделия типа уголков, замкнутых профилей, тавровых соединений (рис.4.8). Для этого один или несколько нагретых инструментов, имеющих клиновидную форму с углом  $75^\circ$ , внедряют в листовую заготовку на глубину около  $2/3$ - $3/4$  толщины листа (рис.4.8, а, б).

После удаления нагретого инструмента листы изгибают по месту выдавленной впадины с образованием сварного шва в зоне перегиба. Такая схема получила название сварки с формованием изделия или сварки с перегибом.

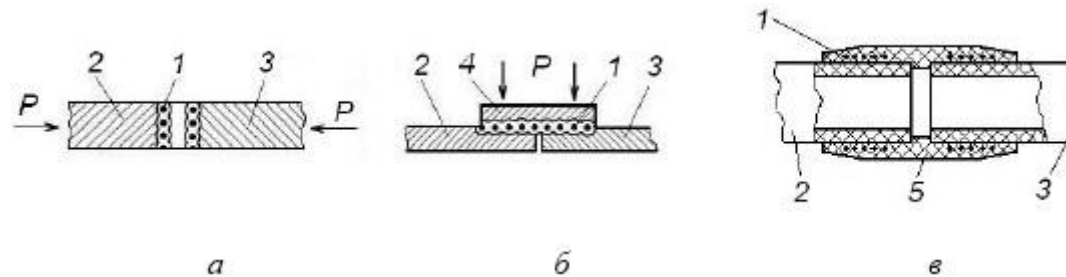
При сварке таврового соединения (рис.4.8, в) нагрев свариваемых поверхностей осуществляется отдельно. После удаления инструмента выполняют сварку нагретых поверхностей, сжимая их с определенным усилием. Разновидностью сварки прямым нагревом является св арка с закладными нагревателями (ЗН), остающимся в сварном шве (рис.4.9). Нагрев такого закладного элемента можно проводить, пропуская по нему электрический ток (сварка электросопротивлением) или помещая его в электромагнитное поле индуктора (индукционная сварка). Сварку деталей с ЗН в технической литературе называют также сваркой с закладными нагревательными элементами или электромуфтовой.



**Рис.4.8. Схема сварки нагретым инструментом с формованием изделия: 1 – нагретый инструмент; 2 – заготовка**

В первом случае (электросопротивлением) сварка заключается в расплавлении полимера на соединяемых поверхностях детали (муфты, отвода, тройника, перехода и т.д.) и труб за счет тепла, выделяемого при протекании электрического тока по заложенному в деталь электрическому нагревателю. В качестве закладного нагревателя используется спираль из металла с высоким электрическим сопротивлением, например из нихрома. Спираль может укладываться в пазы в виде канавок спиралеобразной формы, выполненных предварительно на свариваемых поверхностях, или вводиться в детали в процессе их формования. Последний способ широко используется при сварке труб с соединительными деталями (рис.4.9, в), когда спираль предварительно устанавливают в раструбы муфт, угольников или тройников при изготовлении их литьем под давлением.





**Рис.4.9. Схемы сварки нагретым элементом, остающим в сварном шве: а – стыковое соединение; б – соединение с накладкой; в – стыковое соединение труб с фитингом; 1 – закладной нагреватель; 2, 3 – свариваемые детали; 4 – накладка; 5 – фитинг**

Во втором случае (при индукционной сварке) в качестве закладных нагревателей могут использоваться вкладыши из стали, никеля, кобальта, а также тонкоизмельченный оксид железа с размером частиц до 20 мкм. Могут использоваться и проволока диаметром 0,25 - 0,75 мм, лента, сетка, а также перфорированная фольга.

Сварку закладным нагревателем, остающим в шве, целесообразно использовать при соединении в труднодоступных местах, при прокладке трубопроводов в стесненных условиях, трубопроводов с большим числом соединений на вертикальных участках, на эстакадах, при ремонте трубопроводов и т.п.



## Сварка пластмасс косвенным нагревом

Сварку косвенным нагревом или сварку проплавлением, как правило, применяют при изготовлении пленочных оболочковых конструкций, из армированных и неармированных пленок толщиной не более 2,5 мм. Пленки толщиной 0,5-2,5 мм сваривают на прессах шаговым способом. Пленки толщиной менее 1 мм можно сваривать непрерывно (нагретым роликом, ленточными машинами) либо шаговым способом вручную (нагретым полозом).

## Разновидности сварки косвенным нагревом

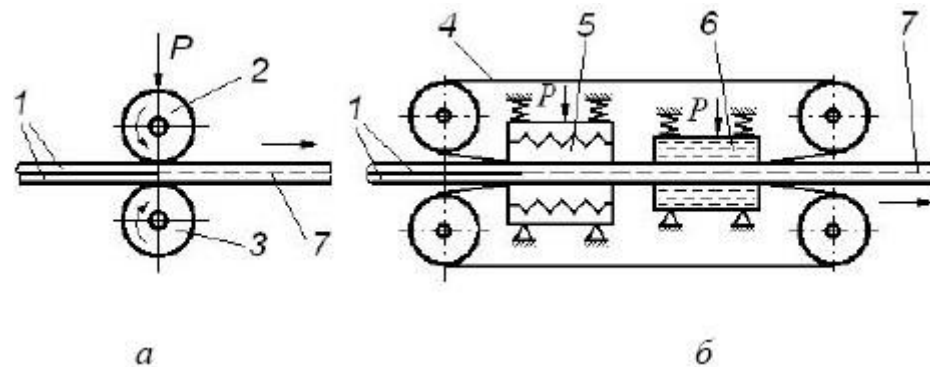
Сварка косвенным нагревом подразделяется на прессовую и термоимпульсную.

**Прессовая сварка** осуществляется постоянно нагретым инструментом с большой теплоемкостью, причем нагрев соединяемых деталей и их сжатие осуществляются одновременно. Сварка может производиться с односторонним (рис.4.2, а) или двусторонним (рис.4.2, б) подводом тепловой энергии. Чтобы предотвратить прилипание пластмассы к нагретому инструменту, между ними помещают разделительные прокладки из фторпласта-4, полиамида, целлофана, полиэтилентерефталата толщиной до 0,1 мм.

Поскольку нагрев свариваемых поверхностей при прессовой сварке происходит за счет теплопроводности слоев, расположенных между поверхностью контакта нагретого инструмента с термопластом и поверхностью контакта свариваемых деталей друг с другом, нагрев происходит не мгновенно, а за промежуток времени, определяемый температурой инструмента, теплофизическими свойствами материалов и толщиной деталей. По этой же причине температура по толщине деталей распределяется неравномерно (рис.4.2), причем максимальная температура устанавливается на поверхности контакта «инструмент - деталь».

Увеличение скорости нагрева может быть достигнуто применением двустороннего подвода тепловой энергии и повышением температуры инструмента. Последнее не всегда возможно, т.к. возрастает вероятность деструкции в зоне контакта термопласта с инструментом, и увеличивается деформация за счет вдавливания инструмента в размягченный материал. Чтобы уменьшить эту деформацию, применяют схему сварки с приложением давления не только к зоне сварки, но и к околошовной зоне. Для этого используют инструмент с дополнительными боковыми неохлаждаемыми или охлаждаемыми губками. Для получения непрерывных швов сварка косвенным нагревом может осуществляться по схеме роликовой или ленточной сварки (рис.4.10), а также их комбинации.

При **роликовой сварке** (рис.4.10, а) перемещение свариваемых материалов осуществляется между роликами, один из которых является приводным, а второй выполняет функцию нагретого инструмента.



**Рис.4.10. Схемы непрерывной сварки нагретым инструментом косвенным нагревом: а – роликовая сварка; б – ленточная двусторонняя сварка; 1 – свариваемый материал; 2 - прижимной ролик; 3 - нагретый ролик; 4 – стальная лента; 5 – нагревательные губки; 6 – охлаждающие губки; 7 – сварной шов**

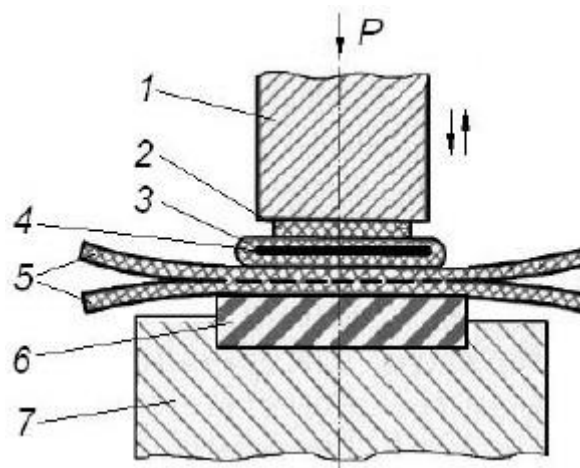
При **ленточной сварке** (рис.4.10, б) свариваемые материалы захватываются движущимися бесконечными металлическими лентами и перемещаются ими через зону нагрева и охлаждения. В зоне нагрева устанавливают два или несколько нагревателей. Обычно один из нагревателей закреплен неподвижно, а другой подпружинен, что позволяет устанавливать необходимый зазор между ними. После выхода из зоны нагрева сварочные ленты с зажатыми свариваемыми материалами попадают в зону охлаждения.

При комбинированном способе для перемещения материала используют непрерывно движущуюся ленту и прижимной ролик. Теплота от нагретого прижимного ролика передается ленте, а от неё – свариваемому изделию. Термоимпульсная сварка осуществляется с помощью малоинерционных нагревательных элементов, по которым пропускают кратковременные, но мощные импульсы тока (рис.4.11). В качестве нагревательных элементов используется металлическая лента или проволока. Соединение осуществляется по схеме прессовой сварки с одно- или двусторонним подводом энергии. В паузах между импульсами электрического тока сварной шов охлаждается под давлением.

**Термоимпульсная сварка** применяется в основном для соединения пленок из полиолефинов толщиной 20-250 мкм. При большей толщине свариваемых материалов не удастся за короткий промежуток времени разогреть соединяемые поверхности до температур сварки без значительного перегрева внешних поверхностей, контактирующих с нагревательным инструментом.

В зависимости от толщины свариваемых материалов длительность импульсов составляет 0,1-1,0 с, частота 1 импульс в секунду при удельной мощности 0,03 Вт/м<sup>2</sup>.

Термоимпульсную сварку можно совмещать с резкой или отделением припуска материала путем проплавления пакета пленок по всей толщине проволочным нагревателем. При этом одновременно получают два изделия с рантовыми (торцевыми) швами.



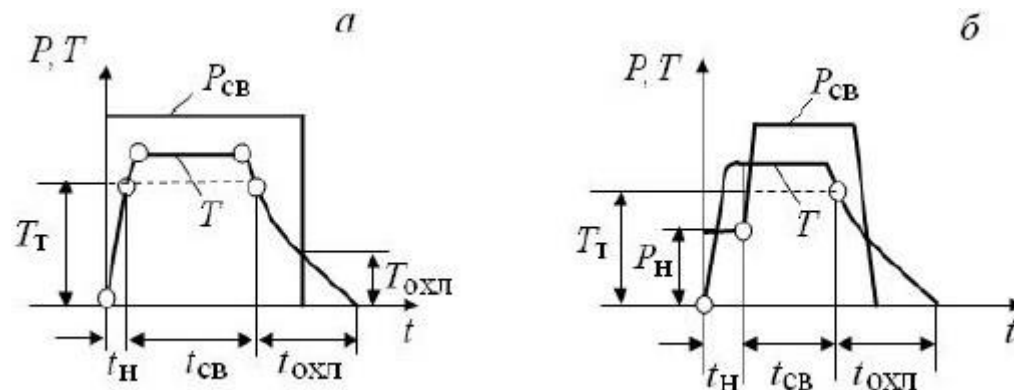
**Рис. 4.11. Схема термоимпульсной сварки: 1 – подвижная прижимная губка; 2 – теплоизоляционная прокладка; 3 – разделительная антиадгезионная пленка; 4 – нагревательная лента; 5 – свариваемые пленки; 6 – эластичная теплоизоляция; 7 – неподвижная губка**

**Кинетика процесса проплавления**

Основными технологическими параметрами режима контактной сварки косвенным нагревом являются температура нагревателя  $T_H$ , давление при нагреве  $P_H$  и сварочное давление  $P_{CB}$ , продолжительность нагрева  $t_H$ , время выдержки под давлением после сварки  $t_{охл}$ .

При сварке на прессах пленка в месте нахлестки может прогреваться с одной стороны или одновременно с двух сторон. Но в любом случае течение материала в зоне контакта пленок будет происходить лишь тогда, когда температура в зоне раздела достигнет значений, превышающих температуру текучести. Такое состояние наступает не сразу, а постепенно – по мере передачи тепла за счет теплопроводности слоев, расположенных между поверхностью нагретого инструмента и свариваемыми поверхностями.

При термоимпульсной сварке собранную на столе пресса пленку сжимают в месте нахлестки под сварочным давлением и одновременно включают нагреватель (рис.4.12, а). По мере нагрева и размягчения поверхности пленки начинается её течение. Этот эффект тем сильнее, чем толще пленка. При сварке толстых пленок, особенно армированных, целесообразно вначале создавать давление  $P_H$ , которое обеспечивало бы плотный контакт пленок и их прогрев, и только спустя некоторое время  $t_H$  (рис.4.12, б) сдавливать нахлестку под давлением сварки  $P_{CB}$  для создания условий течения расплава в месте контакта свариваемых пленок. Охлаждение сварного соединения должно происходить обязательно под давлением до температур  $T_{охл}$  перехода в стеклообразное состояние (для аморфных полимеров) или в кристаллическое (для кристаллических полимеров).



**Рис.4.12. Термомеханические циклы сварки термопластов косвенным нагревом: а - наиболее распространенный способ прессовой сварки пленок; б – цикл с предварительным нагревом под давлением и осадкой;  $P_n$  – начальное давление;  $P_{ce}$  – давление сварки;  $T_m$  – температура текучести термопласта;  $T_{охл}$  – предельная температура охлаждения под давлением;  $t_n$ ,  $t_{ce}$ ,  $t_{охл}$  – продолжительность нагрева, выдержки и охлаждения соответственно**



## Сварка прямым нагревом при монтаже трубопроводов

---

В последнее время в различных напорных и безнапорных трубопроводных системах часто предпочтение отдается прочным, надежным, долговечным и коррозионно-стойким полимерным трубам. Канализационные системы, водостоки, трубопроводы для транспортировки всевозможных агрессивных веществ, водо-, и газопроводы – вот далеко не полный перечень областей применения полимерных труб.

Такое широкое использование пластмассовых трубопроводов обусловлено тем, что они в 4-5 раз легче стальных, проявляют высокую стойкость к агрессивным средам и имеют меньшее гидравлическое сопротивление. Затраты труда на монтаж и эксплуатацию трубопроводов из пластмасс в среднем в 2-3 раза меньше, чем стальных трубопроводов.

Наибольшее применение имеют трубы из полиэтилена низкой и высокой плотности, полипропилена и поливинилхлорида диаметром до 630 мм и более. Основной тип соединения таких труб при строительстве трубопроводов – сварка встык.

При монтаже полимерных трубопроводов в зависимости от назначения и условий производства могут применяться различные методы сварки:

- сварка встык с помощью нагретого инструмента;

- сварка полиэтиленовых, полимерных, полипропиленовых труб и др. материалов в раструб;
- сварка муфтами с закладным нагревательным элементом.

