

ЭКСТРУЗИОННАЯ СВАРКА

1. Принцип сварки и устройство оборудования

НАЗНАЧЕНИЕ Экструзионная сварка применяется для сварки листов и пленки из термопластов. Изогнутые детали, радиус изгиба которых многократно превышает ширину шва и длину сварочного башмака, могут считаться листами и свариваться экструдером.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ Так же как и для любой другой технологии сварки, здесь действуют общие требования:

- Сваривать следует только изделия из одинаковых термопластов. Важнейшими показателями «одинаковости» являются химический состав, плотность и показатель текучести расплава. При экструзионной сварке те же требования предъявляются к присадочному материалу.

Замечание: Если показатель текучести расплава ПТР свариваемых деталей отличаются, то присадочный материал следует по возможности выбирать таким образом, чтобы его ПТР был средним между ПТР свариваемых деталей.

- Свариваемые поверхности должны быть чистыми. При экструзионной сварке это требование настолько жесткое, что свариваемые поверхности должны быть механически очищены даже от тончайшего слоя окислившегося материала не более чем за 20 мин. до начала сварки. Это связано с тем, что технология экструзионной сварки создает сравнительно небольшое течение и перемешивание материала в зоне сварки.

ГЛАВНАЯ ИДЕЯ По сравнению с технологией сварки горячим воздухом с применением присадочного материала (прутка), технология экструзионной сварки была изначально разработана для сварки сравнительно толстостенных деталей, а также для увеличения скорости и качества сварки.

ПРИНЦИП В принципе, экструзионная сварка двух деталей заключается в следующем:

- Свариваемые поверхности, в форме специально подготовленной сварочной канавки или угла между листами (рис.1), предварительно нагреваются до температуры пластификации горячим воздухом или, в особых случаях, тепловым излучением.

- Одновременно с этим присадочный материал в форме прутка или гранул подается в экструдер, нагревается до вязко-текучего состояния и перемешивается шнеком экструдера до достижения гомогенной массы.

- Вязко-текучий присадочный материал выдавливается из экструдера и, как правило, подается непосредственно в зону сварки через сварочный башмак.

- Давление, необходимое для сварки, прикладывается через присадочный материал – как правило, сварочным башмаком.



Рис.1 Выполнение сварного шва К-типа

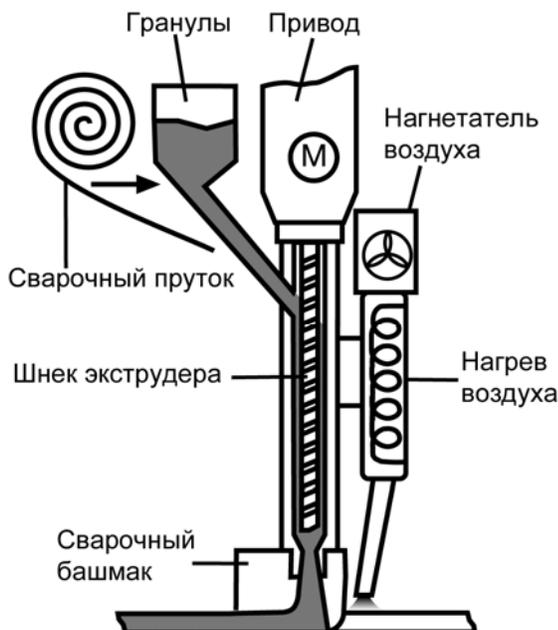


Рис.2 Схема работы сварочного экструдера

КЛАССИЧЕСКИЙ ЭКСТРУДЕР Схема работы классического сварочного экструдера следующая (Рис.2):

Поскольку зона сварки обязательно должна быть нагрета перед впрыскиванием присадочного материала, экструдер снабжен нагревателем воздуха. Горячий воздух подается в зону сварки через специальное сопло и нагревает свариваемые поверхности до вязко-текучего состояния. Температура воздуха регулируется специальным контроллером.

Нагреватель воздуха может быть в форме термофена, т.е. иметь встроенный нагнетатель воздуха. Как вариант, экструдер может быть рассчитан на внешнюю подачу воздуха – от компрессора или пневмосети предприятия.

Присадочный материал в форме сварочного прутка или гранул подается в экструдер.

Шнек экструдера приводится в движение приводом, в качестве которого часто используют обычную ручную дрель. С учетом того, что обычная продолжительность работы экструдера больше, чем у дрели, на качественных экструдерах используются модифицированные электромоторы, рассчитанные на продолжительный режим работы и имеющие больший ресурс.

Наиболее современный двигатель привода – асинхронный, без графитовых щеток. Такой двигатель имеет значительно больший ресурс и позволяет с высокой точностью регулировать обороты шнека экструдера в очень широком диапазоне (20-100%).

Проходя через экструдер, присадочный материал постепенно нагревается и перемешивается до гомогенного состояния. Нагрев материала обеспечивается электронагревом «рубашки» экструдера. Температура электронагревателей, расположенных вокруг рубашки, регулируется специальным контроллером.

Как вариант, в более простых и дешевых моделях экструдеров нагрев рубашки может производиться горячим воздухом, который проходит через полость вокруг рубашки и только после этого подается в зону сварки. В этом случае температура нагрева присадочного материала «привязана» к температуре горячего воздуха.

Расплавленный присадочный материал подается в зону сварки через т.н. сварочный башмак, изготовленный из ПТФЭ (фторопласт-4). ПТФЭ отличается высокой температурой плавления и прекрасными антиадгезионными свойствами.

Наиболее часто свариваются изделия из ПНД, ПП или др. термопластов 1-й группы.

Термопласты 2-й группы, как ПВХ и ПВДФ, отличаются неприятной особенностью – температура термодеструкции материала не намного превышает температуру пластификации. Поэтому для сварки ПВХ и ПВДФ используется экструдер со шнеком специальной формы, который более тщательно перемешивает материал в процессе его расплавления, не допуская локального перегрева. Сварка термопластов 2-й группы, кроме того, сопряжена с дополнительными ограничениями из-за температурной неустойчивости материала – в частности, экструдер не должен выключаться и вновь включаться в процессе сварки.

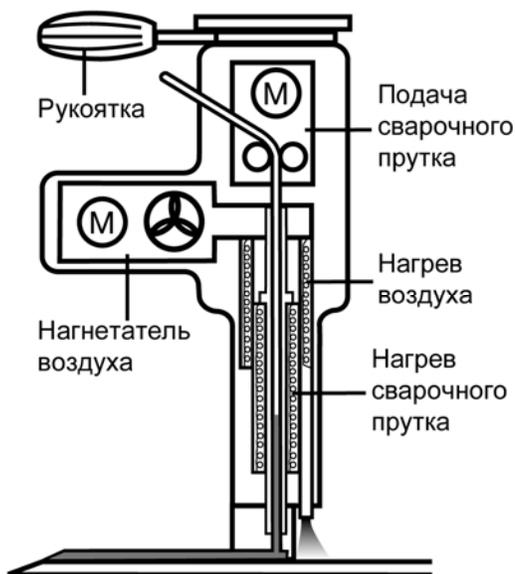


Рис.3 Схема работы сварочного экструдера плунжерного типа

ПЛУНЖЕРНЫЙ ЭКСТРУДЕР В экструдерах плунжерного типа (рис.3) используется упрощенная схема продвижения присадочного материала через зону нагрева.

Материал в виде сварочного прутка подается на профильные вальцы, которые с усилием вводят его в цилиндрическое отверстие зоны нагрева. Электронагреватели, расположенные вокруг зоны нагрева, постепенно нагревают пруток до вязко-текучего состояния. Таким образом, задняя твердая часть прутка служит поршнем для передней пластифицированной части.

Нагретый присадочный материал затем подается в зону сварки через сварочный башмак.

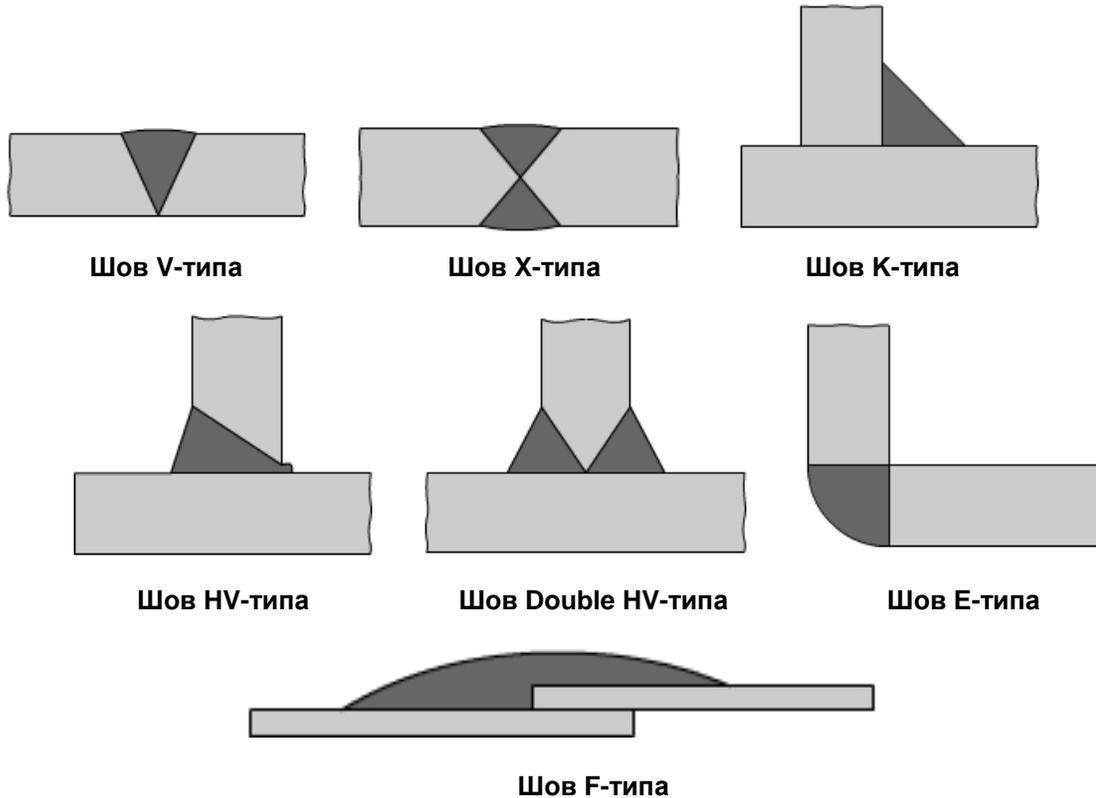
Нагнетание воздуха, его нагрев и подача в зону сварки производятся, в принципе, так же, как и в классическом сварочном экструдере.

Сварочные экструдеры плунжерного типа отличаются меньшей производительностью. Компактность и небольшой вес позволяют использовать такой экструдер в труднодоступных местах.

К недостаткам плунжерных экструдеров следует отнести их высокую требовательность к диаметру и идеально круглой форме прутка.

2. Основные формы экструзионных сварных швов

DVS 2207-4¹ описывает следующие основные формы экструзионных сварных швов для листов и пленок:



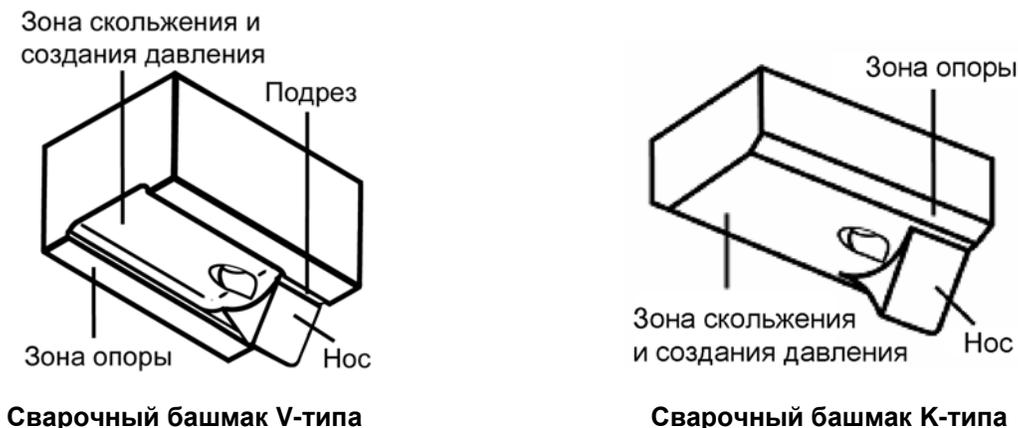
Сварной шов обычно выполняется за один проход.

По возможности следует делать швы двусторонними – как, например, швы X-типа и Double HV-типа. Двусторонний шов уменьшает количество присадочного материала и позволяет уменьшить неизбежную деформацию сварной детали во время остывания шва.

ГОСТ 16310-80 уделяет значительно меньше внимания подготовке свариваемых поверхностей и технологии выполнения сварки и совершенно не описывает форму сварочных башмаков. Зато очень подробно описывает форму и размеры многочисленных конфигураций экструзионных сварных швов.

3. Форма сварочного башмака

Пластифицированный присадочный материал подается в зону шва через сварочный башмак. Башмак прижимает присадочный материал и сообщает ему давление, необходимое для сварки. Одновременно с этим, башмак формирует шов и сглаживает его поверхность. Таким образом, сварочный башмак должен соответствовать форме и размеру предполагаемого сварного шва.



¹ Deutscher Verband für Schweißtechnik - Германская ассоциация сварочных технологий (Нем.)

Сварочный башмак изготавливается из ПТФЭ (фторопласт-4), который отличается высокой рабочей температурой и прекрасными антиадгезионными свойствами.

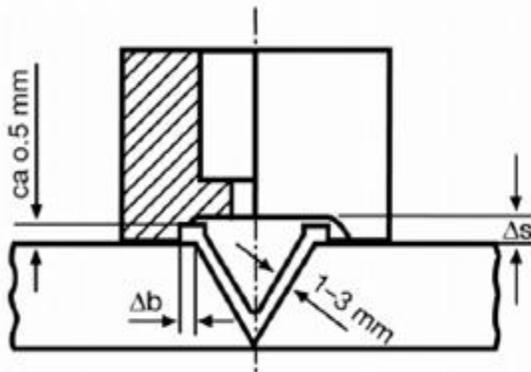


Рис.4 Требования к форме сварочного башмака

Длина зоны опоры и зоны создания давления должна быть не менее указанной в табл.1. Этим обеспечивается продолжительность создания давления, необходимого для заполнения всего объема шва (особенно корневой зоны), а также для смешивания присадочного материала с материалом свариваемых поверхностей.

Расстояние Δb должно быть не менее 0,2 глубины шва и не менее 3мм. Глубина подрезки должна быть около 0,5мм и расширяться к переду. Таким образом, зона опоры не повреждает пластифицированный материал поверхностей свариваемых деталей.

Глубина Δs зоны создания давления должна быть 0,1-0,2 глубины шва.

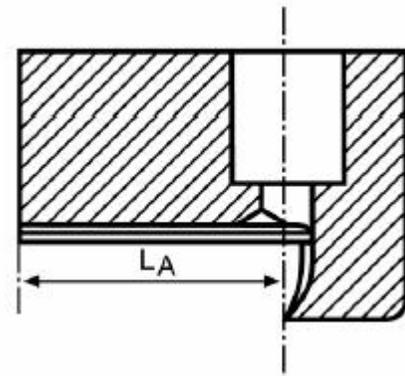
Нос сварочного башмака предотвращает течение присадочного материала в неверном направлении. Кроме того, присадочный материал, давя на нос башмака, заставляет экструдер продвигаться вперед.

Нос сварочного башмака должен повторять форму свариваемых поверхностей, но не должен их касаться. Для обеспечения этого условия расстояние между носом и свариваемыми поверхностями должно быть 1-3мм в зависимости от размеров шва. Передняя кромка носа и передняя кромка зоны опоры должны быть скруглены.

Зона опоры не позволяет присадочному материалу выдавливаться за пределы сварного шва. Для этого в процессе сварки следует прижимать сварочный башмак к свариваемым деталям с заметным усилием.

Таблица 1

Глубина шва S	Длина зоны создания давления L_A
$S < 15$	35
$15 < S < 20$	45
$20 < S < 30$	55



4. Подготовка зоны сварки

4.1. Шов V-типа

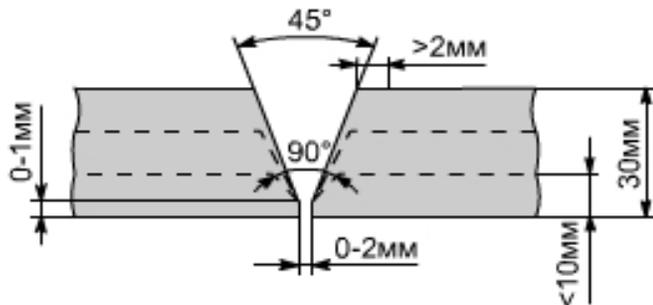


Рис.5 Подготовка к сварке шва V-типа

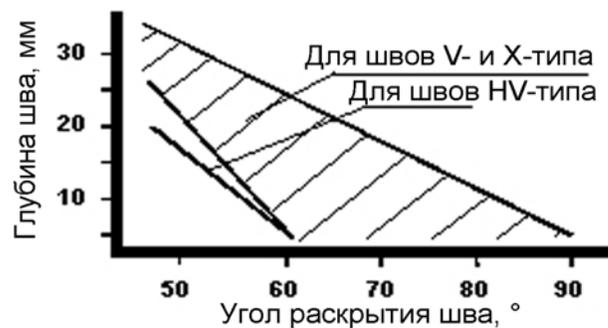


Рис.6 Зависимость угла раскрытия шва от его глубины

Перед проведением сварки двух листов швом V-типа необходимо подготовить кромки листов (рис.5). Для этого можно использовать инструменты, обычные для работы с деревом – пилу, рубанок, рашпиль и пр.

Кромки должны быть скошены таким образом, чтобы угол раскрытия шва составлял 45-90° (рис.6) – меньший угол для более толстых листов и больший угол для тонких листов. Угол раскрытия должен быть достаточно большим, чтобы вязко-текучий материал уверенно заполнил всю зону шва. Ограничение угла раскрытия для более толстых листов вызвано тем, что общая ширина шва, включая зоны перехлеста на поверхности шва, была не более 30мм. В противном случае оператор не может прижать сварочный башмак с усилием, гарантирующим, что присадочный материал не будет выступать за зону опоры сварочного башмака.

В корневом слое шва необходимо оставить нескошенные участки толщиной до 1мм. В противном случае малейшая неравномерность продвижения экструдера вызовет неравномерное оплавление корневого слоя горячим воздухом и, как следствие, заметную неравномерность ширины зазора между свариваемыми листами.

Перед сваркой листы необходимо зафиксировать друг относительно друга, оставив между ними зазор шириной до 2мм. В этом случае присадочный материал будет немного выдавливаться на противоположную сторону листов, гарантированно проваривая корневой слой.

Подготовка кромок должна производиться непосредственно перед проведением сварки, т.к. поверхность многих термопластов быстро окисляется на воздухе. Кроме того, даже небольшое запыление или другое загрязнение свариваемых поверхностей может губительно повлиять на прочность шва при экструзионной сварке. Если после подготовки кромок прошло более 20 минут, следует очистить поверхности и сразу приступить к сварке. Очистка растворителями неэффективна. Используйте скребки для механической очистки.

Принимая во внимание, что перехлест «шляпки» шва в обе стороны может составлять до 2мм, механическую очистку необходимо провести также и на верхней плоскости листов, на расстоянии не менее 2мм от скола кромок.

4.2. Шов X-типа

Шов X-типа, фактически, является двусторонним швом V-типа. Поэтому основные рекомендации по подготовке шва здесь те же, что и для швов V-типа.

Отличие состоит в том, что при сварке швов X-типа невозможно проконтролировать, насколько хорошо проварен коневой слой. Поэтому подход к корневному слою здесь другой (рис.7).

Вначале с обеих сторон листов выполняются скосы как для швов V-типа. Верхняя плоскость листов механически очищается на расстоянии не менее 2мм от скоса кромок.

Листы закрепляются без зазора в корневом слое, можно даже скрепить их по корневному слою, проварив с помощью ручного термофена со специальным соплом для сшивки. Затем выполняется сварка верхнего шва V-типа.

Перевернув листы на другую сторону, вырезаем корневым слоем. Очистив зоны перехлеста на плоскости листов, выполняем сварку обычного шва V-типа с этой стороны.

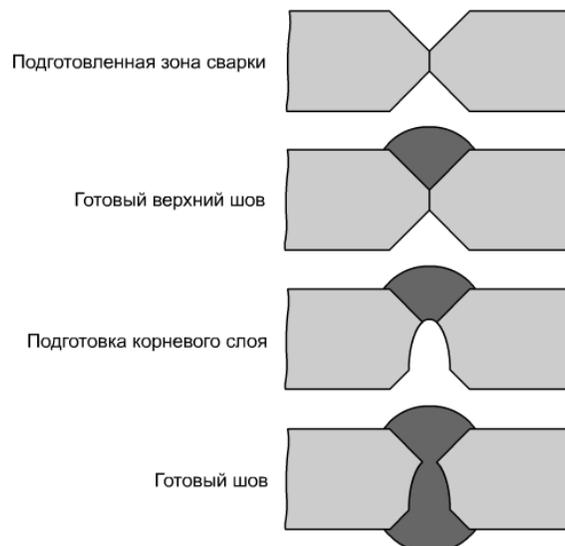


Рис.7 Последовательность сварки шва X-типа

4.3. Шов HV-типа

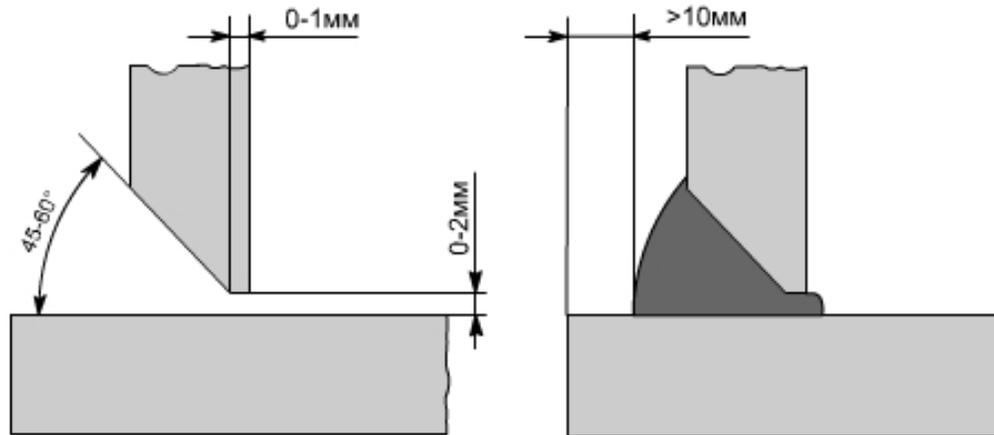


Рис.8 Подготовка к сварке шва HV-типа

Угол раскрытия шва HV-типа (рис.8), так же как и для шва V-типа, зависит от толщины свариваемых листов (в данном случае от толщины вертикального листа) – и находится в пределах 45-60° (рис.7).

В корневом слое вертикального листа, так же как и в случае со швом V-типа, необходимо оставить нескошеный участок толщиной до 1мм.

При фиксации листов перед сваркой необходимо проконтролировать, чтобы между листами остался зазор толщиной до 2мм для гарантированной проварки корневого слоя.

Кроме того, необходимо учитывать, что после выполнения сварки расстояние от левого края горизонтального листа до сварного шва должно составлять не менее 10мм.

Левая плоскость вертикального листа механически зачищается на расстояние не менее 3мм от края скоса кромки. Верхняя плоскость горизонтального листа зачищается от левого края до корневой зоны шва с запасом.

Последовательность выполнения шва Double HV-типа – аналогично шву X-типа, с вырезом и последующей проваркой корневого слоя.

4.4. Шов К-типа

Для сварки двух листов швом К-типа вначале необходимо зафиксировать листы временным швом. Сделать это можно термофеном без сварочного прутка с помощью сопла для сшивки или со сварочным прутком с помощью сопла для быстрой сварки (рис.9).



Рис.9 Фиксация листов перед сваркой шва К-типа



Рис.10 Зачистка поверхностей перед сваркой шва К-типа

Затем необходимо механически зачистить зону сварки с помощью скребка – если фиксация листов была сделана соплом для сшивки, зачистку можно проводить острым углом скребка; если фиксация выполнялась сварочным прутком, необходимо использовать скругленный угол скребка (рис.10).

Теперь можно приступать к экструзионной сварке.

4.5. Сварка швов переменного сечения

Выше рассмотрены идеализированные, наиболее типичные формы сварных швов. На практике часто возникает необходимость сварить шов, геометрия которого меняется на протяжении шва – например, вварить патрубок в трубу (рис.11).



Рис.11 Шов К-типа переменного сечения

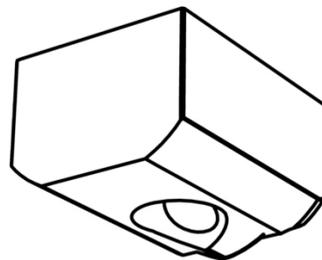


Рис.12 Сварочный башмак для сварки шва переменного сечения

Эта задача успешно решается доработкой сварочного башмака, который в данном случае будет иметь форму как на рис.12. Скругленные зоны опоры обеспечивают контакт со свариваемыми поверхностями и в верхней части (где угол между поверхностями равен 90°), и в нижней (здесь угол может достигать $120-140^\circ$).

5. Выполнение сварки

Установив экструдер на подставку, включите его в сеть питания. Термофен, установленный на экструдере, заработает автоматически.

Если экструдер оборудован нагревателем воздуха, рассчитанным на внешнюю подачу воздуха, следует включить подачу воздуха и проконтролировать, чтобы давление во внешней сети составляло не менее 0,4 бар, а расход обеспечивался на уровне 300л/ч.

Если экструдер оборудован отдельными контроллерами температуры горячего воздуха и присадочного материала, установите на них значения (рис.11) согласно табл.1.



Рис.11 Установка температуры присадочного материала и горячего воздуха на экструдере с отдельными контроллерами

Таблица 1 Параметры экструзионной сварки

Материал	Температура присадочного материала, °С	Температура горячего воздуха, °С	Поток воздуха, не менее, л/ч
ПНД	210 - 230	210 - 300	300
ПП	210 - 240	210 - 300	300
ПВХ	170 - 180	280 - 340	300
ПВДФ	240 - 260	280 - 350	300

Если нагрев экструзионной камеры вашего экструдера осуществляется горячим воздухом, то экструдер имеет только контроллер температуры горячего воздуха и конструктивно рассчитан на то, что температура присадочного материала будет поддерживаться на уровне примерно на 20-30°С ниже температуры горячего воздуха.

После установки требуемой температуры на дисплее контроллеров начинается нагрев термофена и экструзионной камеры.

Одновременно с этим, чтобы не терять время, рекомендуется установить экран горячего воздуха на подставку экструдера таким образом, чтобы горячий воздух прогревал сварочный башмак. Сварочный башмак абсолютно необходимо нагреть до начала сварки, иначе он будет оставлять волнистую поверхность сварного шва.

Современные экструдеры оборудованы т.н. блокировкой холодного пуска. Эта блокировка, как минимум, контролирует температуру в экструзионной камере и не позволит включить привод экструдера, пока эта температура не достигнет некоего порогового значения. В противном случае можно было бы повредить электромотор или редуктор или шнек экструдера.

Вторая блокировка холодного пуска контролирует температуру горячего воздуха – бессмысленно включать привод экструдера, если горячий воздух не готов нагревать зону сварки.

Особо продвинутые экструдеры снабжены блокировкой холодного пуска, которая контролирует момент нагрузки на валу электродвигателя (т.е. на шнеке экструдера). Если присадочный материал не достиг вязкотекучего состояния, привод не включится.

Когда все блокировки холодного пуска сняты, можно включить привод экструдера.

Внимание! При первом включении привода экструдера после разогрева необходимо полностью обновить материал в экструзионной камере, даже если сварка будет проводиться таким же материалом. Старый материал уже был нагрет и получил т.н. термошок. Повторный нагрев и связанный с ним дополнительный термошок еще более снижает прочностные характеристики материала.

Температура присадочного материала и горячего воздуха – критически важные параметры для качества экструзионной сварки. Поэтому показания дисплея контроллера рекомендуется иногда перепроверять с помощью контактного термометра (рис.12).

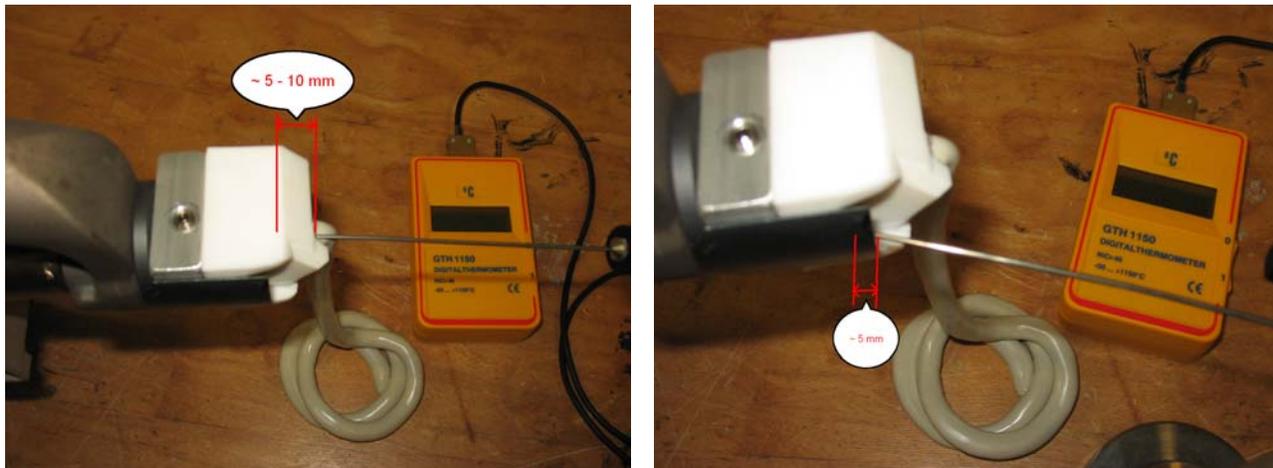


Рис.12 Контроль температуры присадочного материала и горячего воздуха с помощью контактного термометра

Для измерения температуры присадочного материала необходимо ввести зонд термометра на глубину 5-10 мм в отверстие выхода присадочного материала из сварочного башмака.

Температура горячего воздуха измеряется зондом внутри сопла на глубине около 5мм от внешнего края.

Температура горячего воздуха – только один из параметров, определяющих качество предварительного нагрева зоны сварки. Вторым параметром является форма сопла и его расстояние от сопла горячего воздуха до нагреваемых поверхностей. Это расстояние должно быть около 5мм. Форма сопла должна обеспечивать равномерный нагрев всей зоны сварки и как можно меньший захват соседних областей.

Третьим, последним условием качественного предварительного нагрева является правильный выбор скорости продвижения экструдера вдоль шва. С учетом указанных выше требований к температуре и расходу горячего воздуха, для ПНД и ПП оптимальной является скорость около 40 см/мин. Регулируя обороты шнека и скорость заполнения зоны шва присадочным материалом, несложно отрегулировать скорость продвижения экструдера.

Зная площадь поперечного сечения швов, которые вы намерены варить, легко рассчитать требуемую минимальную и максимальную производительность экструдера. У экструдеров с асинхронным двигателем диапазон площади сечения свариваемых швов значительно шире – частотный регулятор асинхронного двигателя позволяет точно регулировать его обороты в очень широких пределах (20-100%).

Сделав расчеты скорости продвижения экструдера и предварительно отрегулировав его обороты, можно начинать сварку.

Для этого вначале подносим экструдер к зоне сварки и прогреваем поверхности горячим воздухом. Затем прижимаем сварочный башмак к зоне сварки и включаем привод экструдера.

При продвижении экструдера вдоль шва необходимо постоянно контролировать угол наклона экструдера. Например, при сварке шва К-типа угол наклона постоянно должен быть 45°.

Кроме этого, нужно выбрать оптимальное усилие прижима сварочного башмака к зоне сварки и постоянно его поддерживать. Усилие прижима должно быть достаточно большим, чтобы присадочный материал не выдавливался из-под зон опоры. С другой стороны, чрезмерное усилие прижима может остановить движение экструдера и заставить присадочный материал течь через зазор в корневом слое.



Рис.13 Контроль в процессе сварки

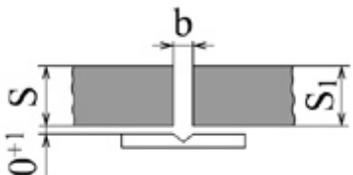
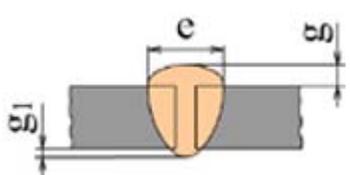
При слишком медленном движении экструдера вдоль зоны сварки слишком большое количество присадочного материала выдавливается с задней стороны сварочного башмака, и сформированный готовый шов имеет слишком выпуклую форму. Помимо повышенного расхода присадочного материала, это приводит к еще одному отрицательному результату – при остывании слишком объемного шва, особенно при низких температурах воздуха, могут возникнуть серьезные перепады температуры между наружными и внутренними слоями шва. Перепады температур приводят к внутренним напряжениям, в экстремальных случаях – к растрескиванию внутренних слоев.

Поэтому, с одной стороны, необходимо избегать неоправданного увеличения объема шва, а с другой стороны – при сварке швов большой глубины прикрывать их тканью для медленного равномерного остывания.

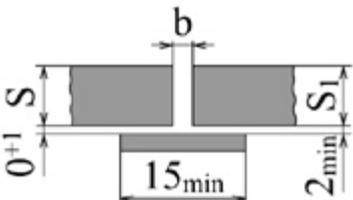
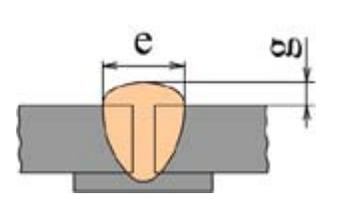
6. Формы сварных соединений согласно ГОСТ

ГОСТ 16310-80 описывает следующие сварные соединения, выполняемые методом экструзионной сварки:

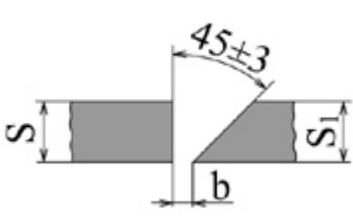
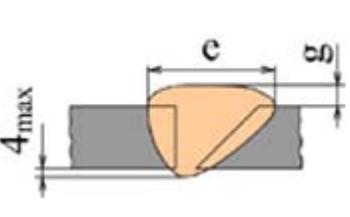
6.1. Стыковое соединение без скоса кромок, односторонний шов на съёмной подкладке

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=S_1$	b	g	g_1	e
		2-6	3^{+1}	2^{+1}	1^{+1}	10_{\max}

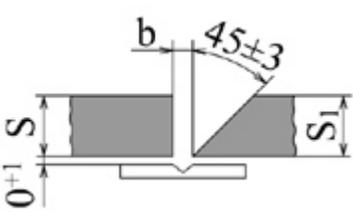
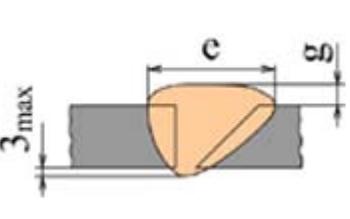
6.2. Стыковое соединение без скоса кромок, односторонний шов на остающейся подкладке

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=S_1$	b	g	e
		2-6	2^{+1}	2^{+1}	10_{\max}

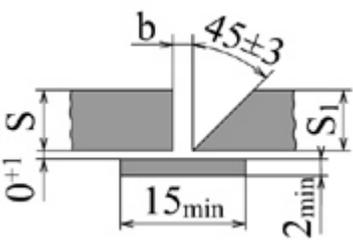
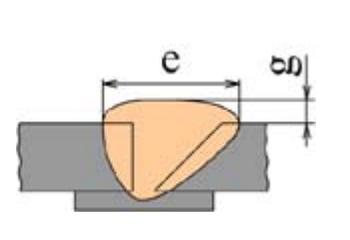
6.3. Стыковое соединение со скосом одной кромки, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=S_1$	b	g	e
		4-6	$0,5^{+1}$	2^{+1}	10_{\max}
		7-9			16_{\max}
		10-12		3^{+1}	18_{\max}
		13-15			20_{\max}
		16-18			24_{\max}
		19-20			26_{\max}

6.4. Стыковое соединение со скосом одной кромки, односторонний шов на съёмной подкладке

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=S_1$	b	g	e
		4-6	2^{+1}	2^{+1}	10_{\max}
		7-9			16_{\max}
		10-12		3^{+1}	18_{\max}
		13-15			20_{\max}
		16-18			24_{\max}
		19-20			26_{\max}

6.5. Стыковое соединение со скосом одной кромки, односторонний шов на остающейся подкладке

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=S_1$	b	g	e
		4-6	2^{+1}	2^{+1}	10_{\max}
		7-9			16_{\max}
		10-12		3^{+1}	18_{\max}
		13-15			20_{\max}
		16-18			24_{\max}
		19-20			26_{\max}

6.6. Стыковое соединение со скосом одной кромки, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S=S ₁	b	g=g ₁	e	e ₁
		4-6	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	10 _{max}	6 ⁺¹
		7-9			16 _{max}	
		10-12		3 ⁺¹	18 _{max}	9 ⁺¹
		13-15			20 _{max}	
		16-18			24 _{max}	
		19-20			26 _{max}	

6.7. Стыковое соединение с двумя симметричными скосами одной кромки, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S=S ₁	b	g	e
		8-10	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	16 _{max}
		11-13			3 ⁺¹
		14-16		20 _{max}	
		17-19		24 _{max}	
		20		26 _{max}	

6.8. Стыковое соединение со скосом двух кромок, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S=S ₁	b	g	e
		4-6	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	12 _{max}
		7-9			16 _{max}
		10-12		3 ⁺¹	18 _{max}
		13-15			23 _{max}
		16-18			26 _{max}
		19-20			29 _{max}

6.9. Стыковое соединение со скосом двух кромок, односторонний шов на съемной подкладке

Подготовка к сварке	Сварной шов	S=S ₁	b	g	e
		4-6	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	12 _{max}
		7-9			16 _{max}
		10-12		3 ⁺¹	18 _{max}
		13-15			23 _{max}
		16-18			26 _{max}
		19-20			29 _{max}

6.10. Стыковое соединение со скосом двух кромок, односторонний шов на остающейся подкладке

Подготовка к сварке	Сварной шов	S=S ₁	b	g	e
		4-6	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	12 _{max}
		7-9			16 _{max}
		10-12		3 ⁺¹	18 _{max}
		13-15			23 _{max}
		16-18			26 _{max}
		19-20			29 _{max}

6.11. Стыковое соединение со скосом двух кромок, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S=S ₁	b	g=g ₁	e	e ₁
		4-6	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	12 _{max}	6 _{max}
		7-9			16 _{max}	
		10-12		3 ⁺¹	18 _{max}	9 _{max}
		13-15			23 _{max}	
		16-18			26 _{max}	
		19-20			29 _{max}	

6.12. Стыковое соединение с двумя симметричными скосами двух кромок, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=S_1$	b	g	e
		8-10	$0,5^{+1}$	2^{+1}	16_{max}
		11-13			23_{max}
		14-16		3^{+1}	26_{max}
		17-19			29_{max}
		20			30_{max}

6.13. Угловое соединение без скоса кромок, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=K$	S_1	b
		2-10	$\geq 0,7S$	$0,5^{+1}$

6.14. Угловое соединение без скоса кромок, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	$S=K$	S_1	b	K_1
		2-10	$\geq 0,7S$	$0,5^{+1}$	2^{+2}

6.15. Угловое соединение со скосом одной кромки, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S_1	b	g	e
		4-6	$\geq 0,7S$	$0,5^{+1}$	2^{+1}	12_{max}
		7-9				16_{max}
		10-12			3^{+1}	18_{max}
		13-15				20_{max}
		16-18				24_{max}
		19-20				26_{max}

6.16. Угловое соединение со скосом одной кромки, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S_1	b	g	e
		4-6	$\geq 0,7S$	$0,5^{+1}$	2^{+1}	12_{max}
		7-9				16_{max}
		10-12			3^{+1}	18_{max}
		13-15				20_{max}
		16-18				24_{max}
		19-20				26_{max}

6.17. Угловое соединение с двумя симметричными скосами одной кромки, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S_1	b	$g=g_1$	e	e_1
		8-10	$\geq 0,7S$	$0,5^{+1}$	2^{+1}	16_{max}	14_{max}
		11-13				18_{max}	16_{max}
		14-16			3^{+1}	20_{max}	18_{max}
		17-19				24_{max}	22_{max}
		20				26_{max}	24_{max}

6.18. Угловое соединение со скосом двух кромок, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	g	e
		4-6	≥0,7S	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	12 _{max}
		7-9				16 _{max}
		10-12			3 ⁺¹	18 _{max}
		13-15				23 _{max}
		16-18				26 _{max}
		19-20				29 _{max}

6.19. Угловое соединение со скосом двух кромок, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	g	e
		4-6	≥0,7S	0,5 ⁺¹	2 ⁺¹	12 _{max}
		7-9				16 _{max}
		10-12			3 ⁺¹	18 _{max}
		13-15				23 _{max}
		16-18				26 _{max}
		19-20				29 _{max}

6.20. Тавровое соединение без скоса кромок, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	K
		2-20	≥0,7S	0 ⁺¹	≥S

6.21. Тавровое соединение без скоса кромок, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	K
		2-20	≥0,7S	0 ⁺¹	≥S

6.22. Тавровое соединение со скосом одной кромки, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	g	e
		4-6	≥0,7S	0,5 ⁺¹	3 ⁺²	12 _{max}
		7-9			5 ⁺²	16 _{max}
		10-12			7 ⁺²	18 _{max}
		13-15			9 ⁺²	20 _{max}
		16-18			11 ⁺²	24 _{max}
		19-20			13 ⁺²	26 _{max}

6.23. Тавровое соединение со скосом одной кромки, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	g	e
		4-6	≥0,7S	0,5 ⁺¹	3 ⁺²	12 _{max}
		7-9			5 ⁺²	16 _{max}
		10-12			7 ⁺²	18 _{max}
		13-15			9 ⁺²	20 _{max}
		16-18			11 ⁺²	24 _{max}
		19-20			13 ⁺²	26 _{max}

6.24. Тавровое соединение со скосом одной кромки, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	g	e
		8-12	≥0,7S	0,5 ⁺¹	5 ⁺²	18 _{max}
		13-15			7 ⁺²	20 _{max}
		16-18			11 ⁺²	24 _{max}
		19-20			13 ⁺²	26 _{max}

6.25. Нахлесточное соединение без скоса кромок, односторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	K
		2-20	≥S	0 ⁺¹	=S

6.26. Нахлесточное соединение без скоса кромок, двусторонний шов

Подготовка к сварке	Сварной шов	S	S ₁	b	K
		2-20	≥S	0 ⁺¹	=S

7. Разнотолщинные детали

При разнице в толщине свариваемых деталей свыше 1 мм ГОСТ 16310-80 рекомендует, чтобы на детали, имеющей большую толщину S₁, должен быть сделан скос с одной или двух сторон до толщины более тонкой детали S, как указано на рис.14. При этом конструктивные элементы подготовленных кромок и размеры сварного шва следует выбирать по меньшей толщине.

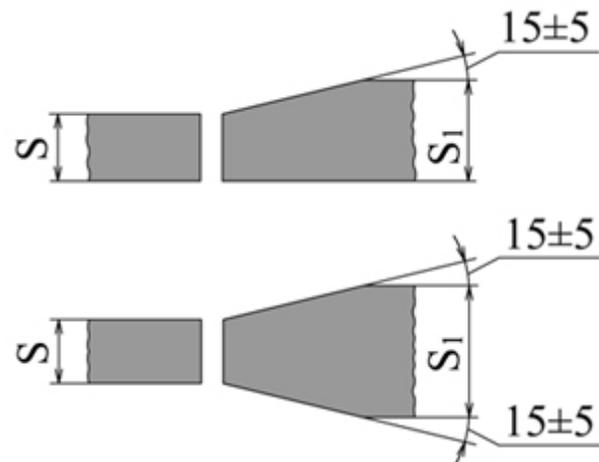


Рис. 14 Подготовка разнотолщинных деталей к сварке

8. Свойства сварных соединений

8.1. Структурная прочность сварных соединений

Внутренние и внешние трещины, так же как и разница в толщине стенки, отрицательно влияют на прочность сварного шва, которая может оказаться ниже прочности исходных деталей. В сварном шве всегда присутствует некоторая неоднородность материала, которая уменьшает структурную прочность материала. Поскольку швы в большинстве случаев не подвергают финишной обработке, неоднородность материала обычно видна на поверхности шва.

На рис.15а показаны угловые соединения четырех различных исполнений. На диаграмме структурной прочности видно, что в общем случае угловые соединения с прямым углом имеют меньшую прочность на изгиб, чем закругленные углы со сварным швом вне места изгиба. Закругленные детали отличаются лучшим распределением нагрузки, что приводит к структурной прочности до 10 раз выше, чем у обычных угловых соединений с прямым углом.

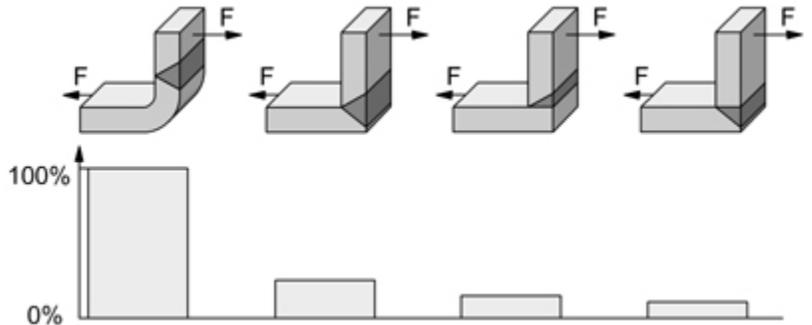


Рис. 15а. Сравнительная прочность угловых соединений

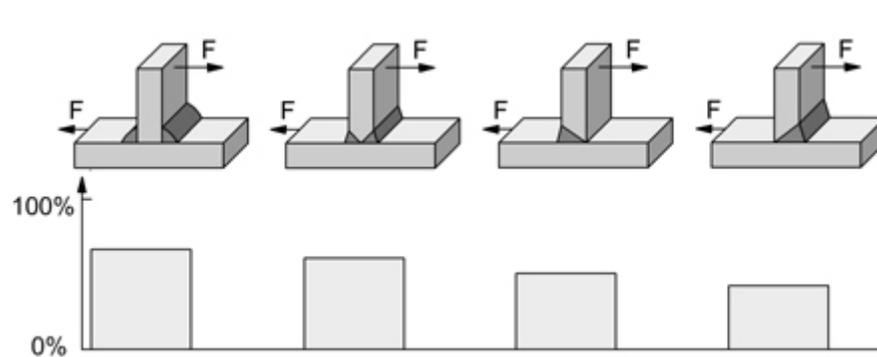


Рис. 15б. Сравнительная прочность тавровых соединений

Тавровые соединения с односторонним сварным швом (рис.15б) показывают худший результат, чем те же соединения с двусторонним швом. Важно, чтобы деталь, которая при эксплуатации будет подвергаться растягивающим нагрузкам, не имела трещин и царапин. Закругление сварных швов благоприятно влияет на структурную прочность, улучшая распределение нагрузки.

Соединения, показанные на рис. 15в, подвергаются растяжению. В зоне сварного шва возникают растягивающие и сдвиговые нагрузки.

V-образный шов с финишной обработкой отличается высокой структурной прочностью, т.к. распределение нагрузки не затруднено, а эффект царапин и трещин сведен до минимума.

При сварке внахлест с одной стороны в зоне шва, кроме растягивающих и сдвиговых нагрузок, возникает изгибающий момент. Структурная прочность очень низкая, т.к. распределение нагрузок весьма затруднено. Если соединение внахлест проварено с двух сторон, распределение нагрузок не затруднено, и структурная прочность соединения высокая.

Те же закономерности справедливы и для крестового соединения.

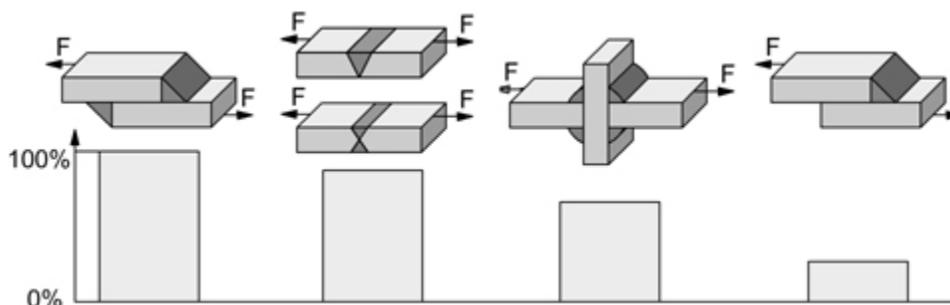


Рис. 15в. Сравнительная прочность плоских соединений

8.2. Расположение сварного шва

Размеры несущих и ленточных швов следует выбирать так, чтобы сечение шва было достаточным для свободного распределения нагрузки. При этом следует предпочитать стыковые соединения.

Корневой слой V-образного соединения должен быть проварен насквозь.

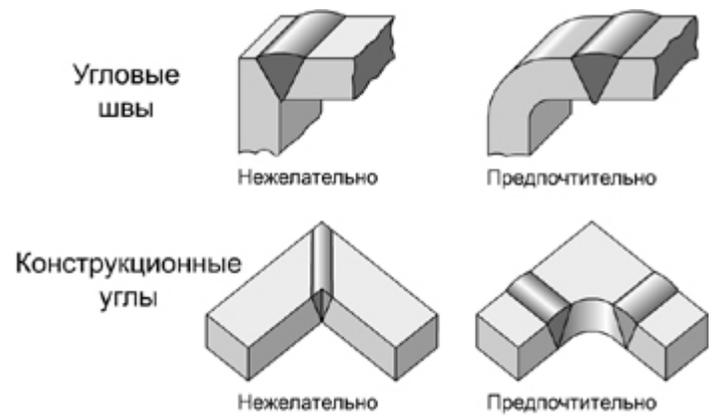


Рис. 16 Примеры угловых соединений

Следует избегать группировки сварных швов. Пересекающиеся швы недопустимы (рис. 17).

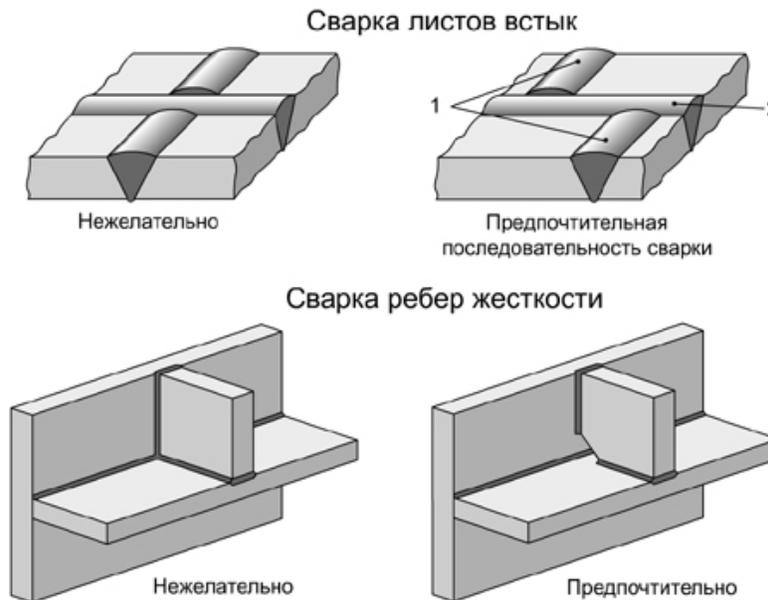


Рис. 17 Примеры группировки швов