

**В. В. ОВЧИННИКОВ, М. А. ГУРЕЕВА**

**ТЕХНОЛОГИЯ ДУГОВОЙ  
И ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКИ  
И РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ**

*Учебник*

Москва Вологда  
«Инфра-Инженерия»  
2021

УДК 621.791  
ББК 34.641  
О-35

**Овчинников, В. В.**

**О-35** Технология дуговой и плазменной сварки и резки металлов : учебник / В. В. Овчинников, М. А. Гуреева. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. – 240 с.: ил., табл.  
ISBN 978-5-9729-0540-9

Представлены общие сведения о дуговой сварке и резке металлов, технологии сварки цветных металлов и сплавов в защитных газах плавящимся и неплавящимся электродами, технике выполнения сварных соединений плазменной сваркой. Даны сведения и характеристики оборудования для дуговой и плазменной сварки и резки металлов.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.791  
ББК 34.641

ISBN 978-5-9729-0540-9

© В. В. Овчинников, М. А. Гуреева, 2021  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2021  
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2021

## ВВЕДЕНИЕ

Современный технический прогресс в промышленности неразрывно связан с совершенствованием сварочного производства. Сварка как высокопроизводительный процесс изготовления неразъемных соединений находит широкое применение при изготовлении металлургического, кузнечнопрессового, химического и энергетического оборудования, трубопроводов различного назначения, в транспортном машиностроении, в производстве строительных и других конструкций, а также летательных аппаратов и судов различного назначения.

Сварка является таким же необходимым технологическим процессом, как обработка металлов резанием, литье,ковка, штамповка. Она часто конкурирует с этими процессами, а в некоторых случаях вытесняет их.

Сварка является одним из ведущих технологических процессов обработки металлов. Большие преимущества сварки обеспечили ее широкое применение в народном хозяйстве; без нее сейчас немыслимо производство судов, автомобилей, самолетов, турбин, котлов, реакторов, мостов и других конструкций. Перспективы сварки, как в научном, так и в техническом плане, безграничны. Применение сварки способствует совершенствованию машиностроения и развитию новых отраслей техники – ракетостроения, атомной энергетики, радиоэлектроники. Развитие сварки требует серьезного повышения уровня теоретических знаний и практической подготовки квалифицированных работников.

Материал учебника базируется на сведениях по химии, физике, технологии металлов и конструкционных материалов, электротехнике и других технических предметах.

Учебник состоит из семи глав, которые содержат общие сведения о сварных соединениях и швах, газах и присадочных материалах при дуговой сварке; технологические аспекты дуговой сварки сталей и цветных металлов; вопросы технологии плазменной резки, а также характеристики оборудования и аппаратура для дуговой сварки.

Выпускник должен обладать профессиональными компетенциями, соответствующими видам деятельности:

ПК 2.1. Выполнять ручную дуговую сварку различных деталей из углеродистых и конструкционных сталей во всех пространственных положениях сварного шва.

ПК 2.2. Выполнять ручную дуговую сварку различных деталей из цветных металлов и сплавов во всех пространственных положениях сварного шва.

ПК 2.3. Выполнять ручную дуговую наплавку покрытыми электродами различных деталей.

ПК 2.4. Выполнять дуговую резку различных деталей.

ПК 3.1. Выполнять ручную дуговую сварку (наплавку) неплавящимся электродом в защитном газе различных деталей из углеродистых и конструкционных сталей во всех пространственных положениях сварного шва.

ПК 3.2. Выполнять ручную дуговую сварку (наплавку) неплавящимся электродом в защитном газе различных деталей из цветных металлов и сплавов во всех пространственных положениях сварного шва.

ПК 3.3. Выполнять ручную дуговую наплавку неплавящимся электродом в защитном газе различных деталей.

ПК 4.1. Выполнять частично механизированную сварку плавлением различных деталей из углеродистых и конструкционных сталей во всех пространственных положениях сварного шва.

ПК 4.2. Выполнять частично механизированную сварку плавлением различных деталей и конструкций из цветных металлов и сплавов во всех пространственных положениях сварного шва.

ПК 4.3. Выполнять частично механизированную наплавку различных деталей.

# Глава 1. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ДУГОВОЙ И ПЛАЗМЕННОЙ СВАРКОЙ

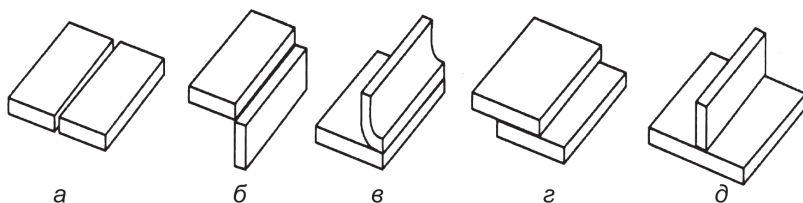
## 1.1. Виды соединений

Сварным соединением называется неразъемное соединение, выполненное сваркой. В сварное соединение входят сварной шов, зона термического влияния и примыкающие к ней участки основного металла.

Зона термического влияния при сварке – это участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, но структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке.

Сварные соединения бывают (рис. 1.1):

- стыковые;
- угловые;
- торцевые;
- нахлесточные;
- тавровые.

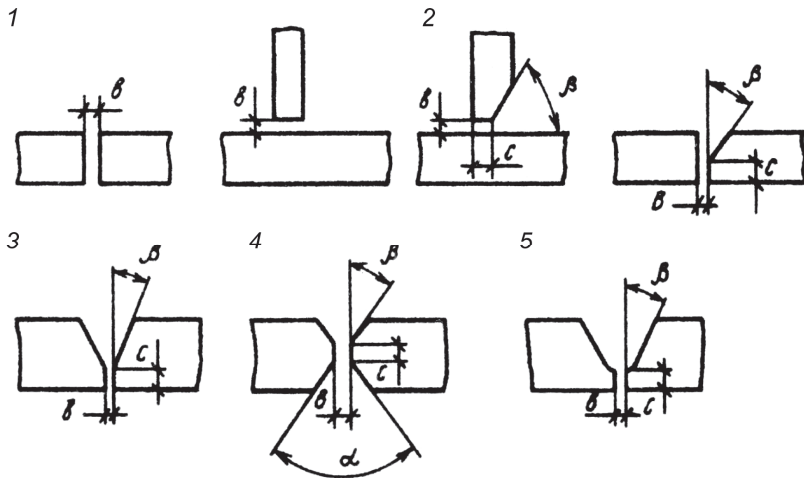


**Рис. 1.1. Основные виды соединений:**

а – стыковое; б – угловое; в – торцевое; г – нахлесточное; д – тавровое

**Стыковое соединение** – это соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцевыми поверхностями (рис. 1.2).

Стыковое соединение без скоса свариваемых кромок применяют при соединении листов толщиной до 12 мм; при этом кромки листов срезают под прямым углом к плоскости. Листы до 4 мм сваривают односторонним швом; 2...12 мм — двухсторонним швом. Подготовка к сварке такого соединения не сложна и недорога, она предусматривает только стыковку свариваемых кромок.



**Рис. 1.2. Конструктивные элементы разделки кромок под сварку:**  
 $e$  – зазор;  $c$  – притупление;  $\beta$  – угол скоса кромок;  $\alpha$  – угол разделки кромок;  
 1 – без разделки кромок; 2 – с разделкой кромок одной детали;  
 3 – V-образная разделка; 4 – X-образная разделка;  
 5 – U-образная разделка

Стыковое соединение без скоса свариваемых кромок и без зазора имеет хорошие характеристики при всех условиях нагружения. Для использования этого вида соединения в ответственных конструкциях необходимо обеспечение полного провара, поэтому в этом случае нежелательно применение односторонних швов, поскольку велика вероятность непровара корня шва, что, в свою очередь, приводит к существенному снижению прочностных характеристик данного соединения.

Двухсторонний сварной шов повышает прочность сварного соединения, однако приложение значительных долговременных нагрузок из-за наличия не проваренного участка в корне шва может привести к разрушению соединения. Полное проплавление достигается при одностороннем сварном шве при толщине металла до 4 мм. При двухстороннем сварном шве полное проплавление обеспечивается при толщине металла до 8 мм.

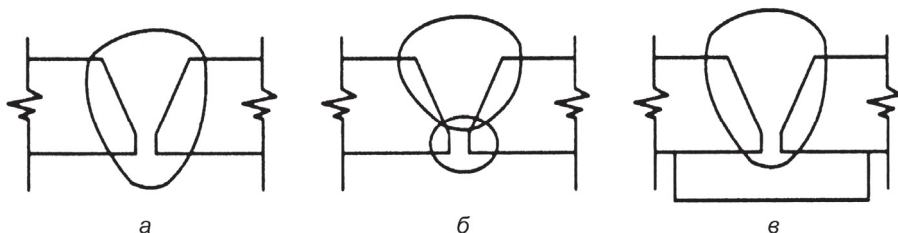
*Стыковое соединение без скоса свариваемых кромок с зазором.* В таких соединениях намного легче, чем в стыковых соединениях без зазора, обеспечить полный провар. Это позволяет производить сварку металла большей толщины. Следует отметить, что в случае получения непровара прочность стыкового соединения будет такой же, как и у соединения без зазора. В случае приложения достаточной нагрузки эти сварные соединения будут иметь одинаковую вероятность разрушения. Полное проплавление достигается при

одностороннем сварном шве при толщине металла менее 5 мм. При двухстороннем сварном шве полное проплавление обеспечивается при толщине металла до 12 мм.

Стоимость подготовки стыковых соединений без скоса свариваемых кромок с зазором почти такая же, как стыковых соединений без скоса свариваемых кромок и без зазора. Однако на практике при использовании стыковых соединений без зазора возникают затруднения, связанные с получением одинакового зазора по всей длине свариваемого стыка.

*Стыковое соединение со скосом кромок.* Это наиболее распространенное соединение. Оно намного превосходит по качеству шва стыковое соединение без скоса кромок и применяется для сварки ответственных конструкций. Стыковые соединения со скосом кромок позволяют сваривать металл толщиной от 3 до 100 мм. Стоимость подготовки таких соединений и расход электродов при их сварке превышают аналогичные показатели для стыковых швов без скоса свариваемых кромок.

При одностороннем сварном шве необходимо обеспечить гарантированный провар корня шва (рис. 1.3, а), в противном случае в условиях приложения значительной нагрузки может произойти разрушение соединения.

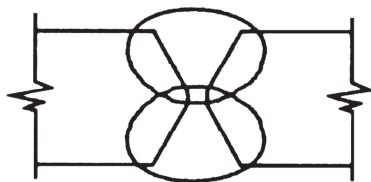


**Рис. 1.3. Стыковое соединение со скосом кромок**

Двухсторонний сварной шов (рис. 1.3, б) может производиться только в тех случаях, когда имеется возможность доступа к обратной стороне шва. В этом случае гораздо легче обеспечить гарантированный провар на всю толщину сварного соединения. При использовании подкладок (рис. 1.3, в) появляется возможность повысить скорость сварки и применять электроды большего диаметра, особенно при выполнении первого или корневого прохода.

*Стыковое соединение с двумя симметричными скосами кромок.* Такие соединения применяются для конструкций, работающих в исключительно тяжелых условиях эксплуатации. Они используются для получения сварных соединений металла толщиной от 8 до 120 мм. При этом расход электродного металла, а отсюда и электроэнергии почти вдвое меньше. Стоимость изготовления такой разделки выше, чем у стыковых швов со скосом кромок. При выполнении

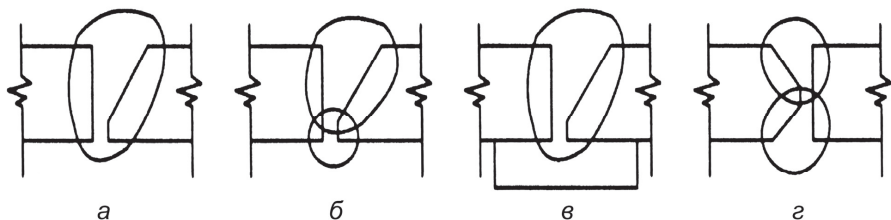
стыкового соединения с двумя симметричными скосами кромок (рис. 1.4) необходимо обеспечить гарантированный провар корня шва. Для этого перед наложением второго шва нужно произвести зачистку корня первого шва.



**Рис. 1.4. Стыковое соединение с двумя симметричными скосами кромок**

Двухсторонний шов стыкового соединения с двумя симметричными скосами кромок позволяет достичь более равномерного распределения тепла в соединении, что снижает концентрацию напряжений в свариваемом изделии. Кроме того, такая разделка обеспечивает меньшую величину деформаций после сварки.

*Стыковое соединение со скосом одной кромки и с двумя симметричными скосами одной кромки.* Стыковые соединения со скосом одной кромки (рис. 1.5, а–в) и с двумя симметричными скосами одной кромки (рис. 1.5, г) и с двумя симметричными скосами кромок. Они могут применяться в конструкциях, силовые нагрузки на которые, а также толщина металла сходны с конструкциями, для которых используются стыковые соединения со скосом кромок.

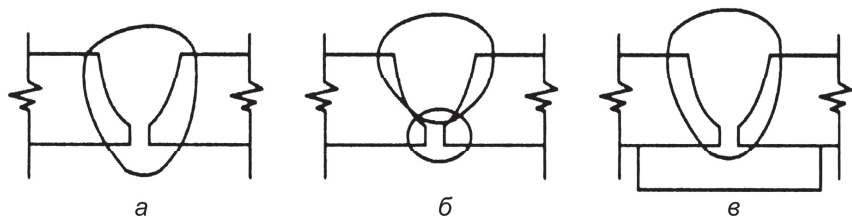


**Рис. 1.5. Стыковое соединение со скосом одной кромки (а–в) и с двумя симметричными скосами одной кромки (г)**

Для заполнения разделки со скосом одной кромки и с двумя симметричными скосами одной кромки требуется меньше электродного металла, а значит, потребуется меньше электродов, чем при заполнении разделок стыковых соединений со скосом кромок, и, соответственно, с двумя симметричными скосами кромок. Затраты на такую разделку меньше, так как требуется выполнить скос только на одной кромке. Однако при выполнении таких швов необходимо учитывать, что сварщику трудно обеспечить хороший провар корня шва и хорошее сплавление с торцом неразделанной кромки.

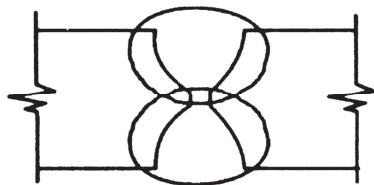


*Стыковое соединение с криволинейным скосом кромок.* Данный вид разделки применяется для особо ответственных конструкций, таких как нагреваемые сосуды высокого давления. Стоимость выполнения таких соединений выше, чем соединений со скосом кромок и соединений с двумя симметричными скосами кромок, однако для сварки соединений с криволинейным скосом кромок необходимо меньшее количество электродов и, соответственно, меньший расход электроэнергии. Стыковое соединение с криволинейным скосом кромок применяется для сварки металла толщиной от 15 до 100 мм. Полное сплавление корня шва легче обеспечить при сварке соединения с двух сторон (рис. 1.6, б) и при сварке соединения на подкладке (рис. 1.6, в), чем при одностороннем шве (рис. 1.6, а). Для получения необходимых эксплуатационных свойств такого соединения необходимо гарантированное проплавление корня сварного шва.



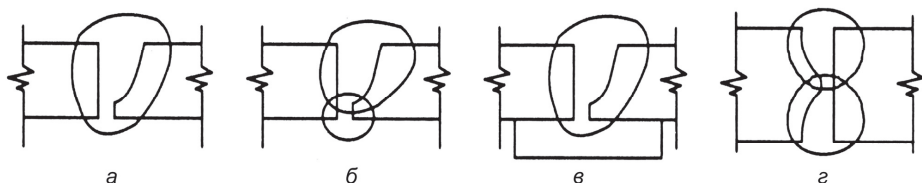
**Рис. 1.6. Стыковое соединение с криволинейным скосом кромок**

*Стыковое соединение с двумя симметричными криволинейными скосами кромок.* Такое соединение применяется для конструкций, в которых используется разделка с криволинейным скосом кромок, но в данном случае сваривается металл большей толщины, при этом сварка производится с двух сторон. Толщина свариваемого металла колеблется от 30 до 175 мм. Стоимость изготовления такой разделки выше, чем разделки с криволинейным скосом кромок, однако расход электродов меньше. Двухсторонний сварной шов обеспечивает более равномерное распределение сварочных напряжений и способствует уменьшению сварочных деформаций. Внешний вид данного соединения показан на рис. 1.7.



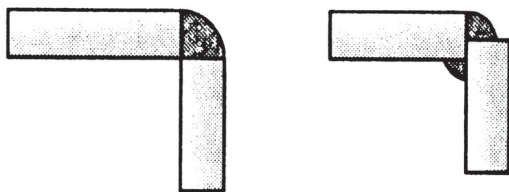
**Рис. 1.7. Стыковое соединение с двумя симметричными криволинейными скосами кромок**

Стыковое соединение с криволинейным скосом одной кромки и с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки. Стыковые соединения с криволинейным скосом одной кромки (рис. 1.8, а–в) и с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки (рис. 1.8, г) применяются в тех же случаях, что и стыковые соединения с двумя симметричными криволинейными скосами кромок, но при условиях приложения меньших по величине нагрузок. Стоимость таких разделок меньше, потому что необходимо обрабатывать только одну кромку. Для заполнения полученной разделки требуется меньшее количество наплавленного металла. Наличие торца неразделанной кромки затрудняет хорошее сплавление и качественное сквозное проплавление.



**Рис. 1.8.** Стыковое соединение с криволинейным скосом одной кромки (а–в) и с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки (г)

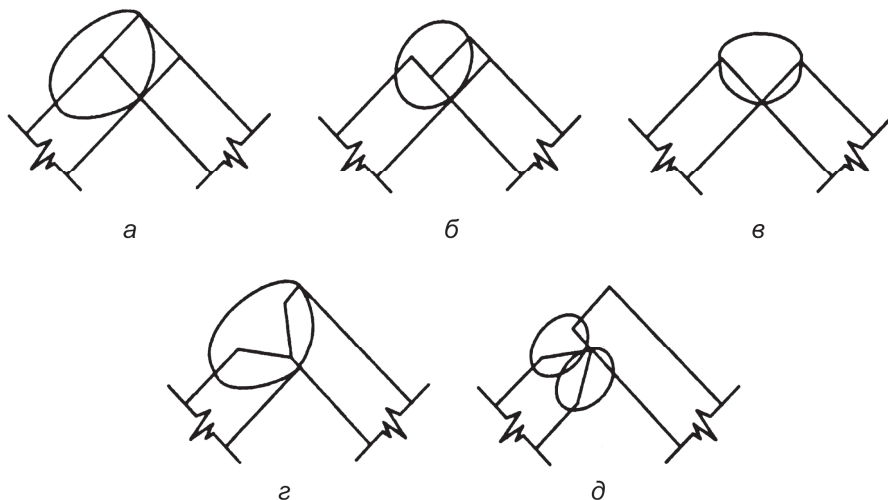
**Угловое соединение** – это сварное соединение двух элементов, расположенных под углом и сваренных в месте примыкания их краев (рис. 1.9).



**Рис. 1.9.** Угловое соединение

Угловые соединения осуществляют при расположении свариваемых элементов под прямым или произвольным углом, и сварка выполняется по кромкам этих элементов с одной или с обеих сторон. Угловые соединения применяют при сварке различных коробчатых изделий, резервуаров и емкостей.

Угловое соединение без скоса кромок с торцевым швом (рис. 1.10, а) обычно применяют для сварки тонкого металла. Более толстые соединения могут выполняться, таким образом, только в том случае, если во время эксплуатации они не будут подвергаться значительным нагрузкам или изгибу в корневой части шва. Для получения данного типа соединения не требуется никакой подготовки кромок, сборка таких соединений предельно проста.



**Рис. 1.10. Типы угловых соединений**

Угловое соединение без скоса кромок с частичным перекрытием элементов (рис. 1.10, б) может применяться для металла толщиной до 30 мм. Данное соединение образует разделку и позволяет обеспечить хорошее проплавление в корне шва, а также хороший внешний вид сварного шва. Для получения данного соединения не требуется никакой подготовки кромок, сборка таких соединений предельно проста.

*Угловое соединение без скоса кромок без взаимного перекрытия элементов* (рис. 1.10, в) может быть использовано для сварки металла большой толщины. В случае односторонней сварки необходимо обеспечить проплавление корня шва. При двухсторонней сварке такое соединение может выдержать значительные нагрузки. В нем равномерно распределены сварочные напряжения. Для получения данного типа соединения не требуется никакой подготовки кромок, однако необходимо большое количество наплавленного металла, кроме того, часто возникают проблемы, связанные со сборкой данного соединения. Кромки должны иметь перпендикулярные торцы после обрезки, для сборки необходимы соответствующие зажимы и кондуктора.

*Угловое соединение со скосом кромок* (рис. 1.10, г) обладает большой прочностью и применяется для сварки металла толщиной от 3 до 60 мм. При невозможности двухсторонней сварки следует обращать внимание на провар корня шва. Стоимость подготовки углового соединения со скосом кромок выше, чем без скоса кромок и без взаимного перекрытия. Сборка таких соединений занимает больше времени, однако расход электродов будет значительно меньше.

Угловое соединение с двумя симметричными скосами одной кромки (рис. 1.10, д) применяется для конструкций, работающих в тяжелых условиях, для металла толщиной от 8 до 100 мм. Сварка выполняется с двух сторон. Необходимо обеспечить хорошее проплавление в корне шва. Стоимость подготовки такого соединения выше, чем соединений без скоса кромок, но расход электродов ниже.

**Торцевое соединение** – это сварное соединение, в котором боковые поверхности сваренных элементов примыкают друг к другу (рис. 1.11).

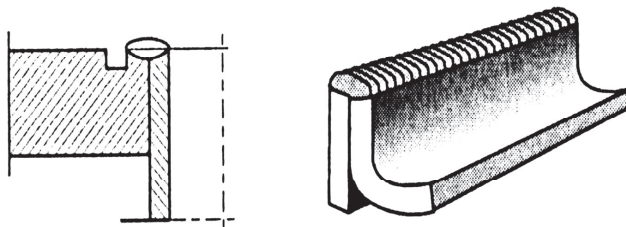


Рис. 1.11. Торцевое сварное соединение

Торцевые соединения не предназначены для нагруженных элементов конструкций и не должны использоваться в сварных изделиях, подвергаемых растяжению или изгибу в корневой части. Очень глубокое проплавление для данного соединения невозможно (рис. 1.12, а и б). Иногда для увеличения глубины проплавления применяют торцевые соединения со скосом кромок (рис. 1.12, в). Торцевые соединения обычно применяются для металлов, имеющих толщину до 6 мм. Благодаря незначительным расходам на подготовку, торцевые соединения экономичны и могут использоваться для неответственных конструкций.

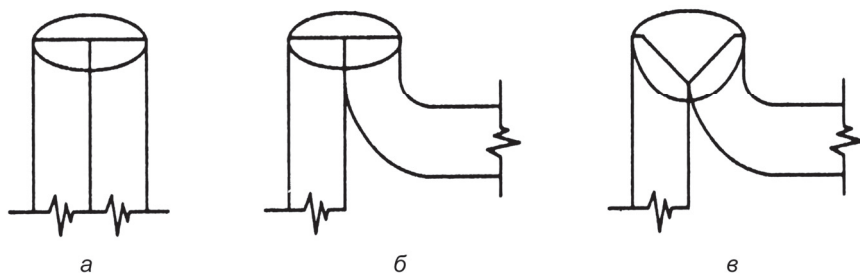
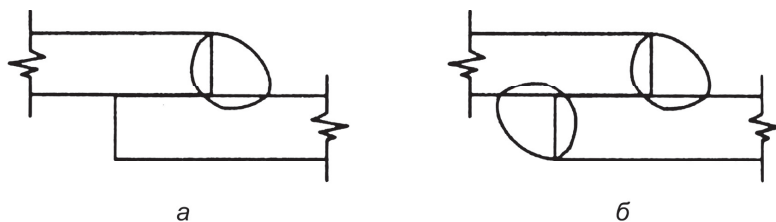


Рис. 1.12. Торцевые соединения

**Нахлесточное соединение** – это сварное соединение, в котором сваренные элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга (рис. 1.13).

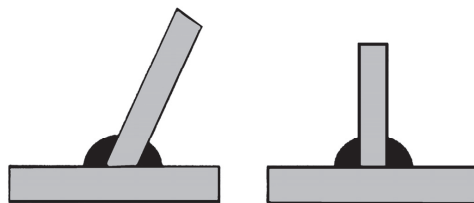


**Рис. 1.13. Виды нахлесточных соединений**

Нахлесточные соединения широко применяют при изготовлении различных строительных конструкций – колонн, мачт, ферм и т. п. Один элемент соединения накладывают на другой. Величина перекрытия должна быть не менее удвоенной суммы толщин свариваемых кромок изделия. Свариваемые поверхности не обрабатывают, не считая зачистку кромок.

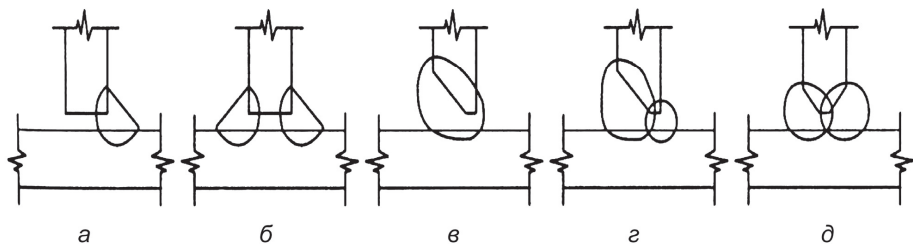
При обычных работах применяют нахлесточное соединение с одним угловым швом (рис. 1.13, *а*), хотя оно менее прочно, чем нахлесточное соединение с двумя угловыми швами (рис. 1.13, *б*). В том случае, если корень соединения будет подвергаться изгибу, применять нахлесточное соединение с одним угловым швом не рекомендуется. При сварке угловых швов нахлесточного соединения необходимо обеспечить провар корня шва. Нахлесточные соединения, хотя и применяются широко, но при больших нагрузках все же не могут конкурировать со стыковыми соединениями.

**Тавровое соединение** – это сварное соединение, в котором торец одного элемента примыкает под углом и приварен к боковой поверхности другого элемента (рис. 1.14).



**Рис. 1.14. Тавровые соединения**

**Тавровые соединения без скоса кромок** (рис. 1.15, *а* и *б*) могут применяться при сварке металла толщиной до 40 мм. Эти соединения не требуют какой-либо подготовки кромок, их сборка проста и экономична. Тавровое соединение с двухсторонним швом (рис. 1.15, *в*) способно противостоять значительным нагрузкам. Тавровые соединения с односторонним швом (рис. 1.15, *а*) плохо работают в условиях изгиба относительно корня шва, поэтому применять их следует с осторожностью.



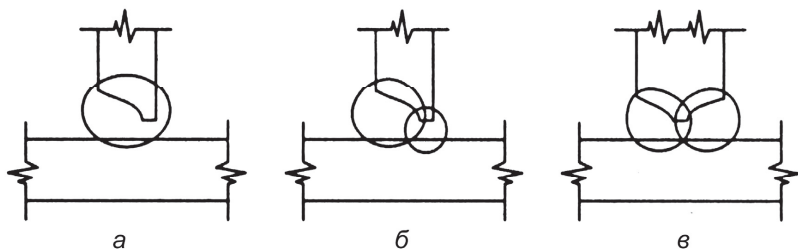
**Рис. 1.15. Тавровые соединения без скоса кромок (а–б), со скосом одной кромки (в–г) и с двумя симметричными скосами одной кромки (д)**

*Тавровые соединения со скосом одной кромки.* Данный вид соединения обладает большей прочностью, чем тавровое соединение без скоса кромок. Тавровое соединение со скосом кромок используется для сварки металла толщиной от 3 до 60 мм. При невозможности двухсторонней сварки (рис. 1.15, в) следует обращать внимание на обеспечение полного провара в корневой части шва. В этом случае соединение сможет работать на изгиб. При наличии возможности проведения двухсторонней сварки (рис. 1.15, г) несущая способность соединения значительно увеличивается. Стоимость подготовки тавровых соединений со скосом кромки выше, чем аналогичный показатель для тавровых соединений без скоса кромки, и сборка таких соединений занимает больше времени, однако стоимость электродов в данном случае будет меньше.

*Тавровые соединения с двумя симметричными скосами одной кромки* (рис. 1.15, д). Данные соединения применяются для конструкций, работающих в тяжелых условиях, для толщин металла от 8 до 100 мм. Сварка выполняется с двух сторон. Необходимо обеспечить хорошее проплавление в корне шва. Стоимость подготовки такого соединения выше, чем таврового соединения без скоса кромок или со скосом одной кромки, но расход электродов для сварки таврового соединения с двумя симметричными скосами одной кромки меньше, чем в двух вышеназванных случаях.

*Тавровые соединения с криволинейным скосом одной кромки.* Они используются для наиболее жестких условий эксплуатации, для толщин металла от 15 до 100 мм. При выполнении односторонней сварки следует обращать внимание на обеспечение полного провара в корневой части шва (рис. 1.16, а). При наличии возможности проведения двухсторонней сварки (рис. 1.16, б) эффективность работы соединения можно существенно повысить за счет наложения второго шва со стороны неразделанной кромки. В этом случае значительно уменьшится вероятность разрушения данного соединения в результате приложения нагрузки к нему в области корня шва. Стоимость подготовки такого соединения выше, чем таврового соединения со скосом одной кромки, однако следует учитывать

меньший расход электродов и, соответственно, электроэнергии при выполнении таврового соединения с криволинейным скосом одной кромки.



**Рис. 1.16. Тавровые соединения с криволинейным скосом одной кромки (а–б) и с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки (в)**

*Тавровые соединения с двумя симметричными криволинейными скосами одной кромки.* Данное соединение (рис. 1.16, в) может выдержать самые жесткие условия нагружения. Оно применяется для металла толщиной от 30 до 120 мм. Сварщику необходимо обеспечить двухстороннюю сварку соединения. Для получения высоких прочностных характеристик в условиях значительных нагрузок необходимо наличие хорошего провара в корневой части шва и сплавления с поверхностью. Стоимость подготовки данного соединения выше, чем таврового соединения с криволинейным скосом одной кромки, но расход электродов меньше.

## 1.2. Типы сварных швов

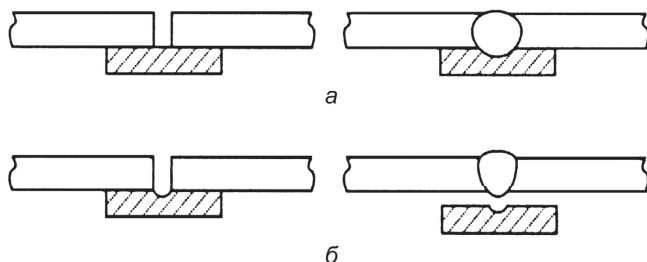
Сварным швом называется участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла или пластической деформации при сварке давлением или сочетания кристаллизации и деформации. Сварные швы классифицируют по назначению, по конструктивному признаку, по протяженности, по положению относительно действующей силы и по положению в пространстве.

*По назначению* швы разделяются на рабочие и связующие, или конструктивные. Рабочие швы воспринимают расчетные усилия, их размеры определяются расчетом. Конструктивные, или связующие, швы служат для соединения элементов, прикрепления конструктивных деталей, устранения зазоров и берутся минимального сечения.

*По конструктивному признаку* швы разделяются на стыковые, угловые, наплавочные и точечные.

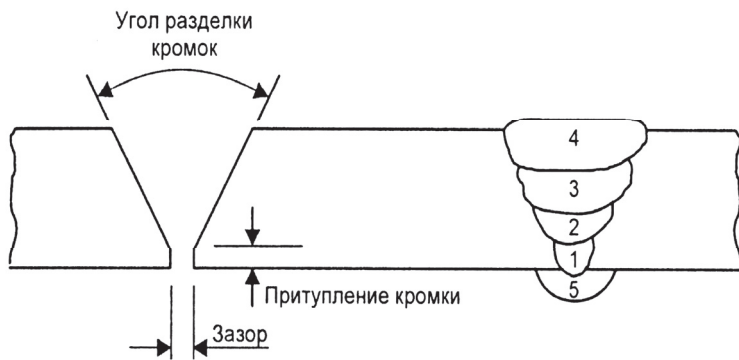
*Стыковой шов* – это сварной шов стыкового соединения. Стыковые швы осуществляются при соединении элементов, расположенных обычно в одной плоскости, путем заполнения присадочным материалом пространства между

детальями. При сварке элементов небольшой толщины для полного провара достаточно оставить между кромками зазор, равный  $1/3$  толщины металла, при этом стыковой шов может быть как на остающейся (рис. 1.17, а), так и на съемной подкладке (рис. 1.17, б).



**Рис. 1.17. Стыковой шов на остающейся (а) и съемной (б) подкладке**

При большой толщине металла, чтобы достичь хорошего провара по всей глубине шва, необходимо специально обработать кромки свариваемых элементов – произвести разделку кромок, при этом шов может состоять из одного или большого количества валиков, наплавленных в разделку (рис. 1.18).



**Рис. 1.18. Стыковой шов с разделкой кромок:**

1 – корневой проход; 2–4 – заполняющие слои; 5 – подварочный шов

Валиком называется металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход. Первый валик (рис. 1.18), наплавленный в разделку, называют корневым проходом или, иногда, корневым швом. Последующие валики образуют заполняющие слои. При двухстороннем сварном шве меньшая часть двухстороннего шва, выполняемая предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемая в последнюю очередь в корень шва, называется подварочным швом.



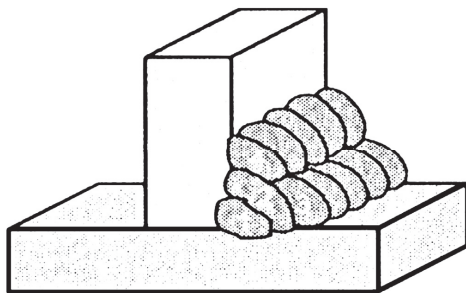
Стыковые швы должны иметь с обеих сторон выпуклость в виде наплывов, имеющих плавное очертание, и по возможности небольшую высоту. Выпуклость компенсирует неровность наружной поверхности шва и возможные ослабления (поры, шлаковые включения) внутренней части.

Стыковой шов является основным и наиболее экономичным сварным соединением. Он передает усилие равномерно по всему сечению с наименьшими местными напряжениями, что делает его особенно целесообразным при вибрационной и динамической нагрузках. Недостатками стыкового шва являются:

- производственные трудности в осуществлении равномерного зазора по всей длине соединяемых элементов;
- дополнительные расходы на обработку кромок;
- необходимость точной резки элементов.

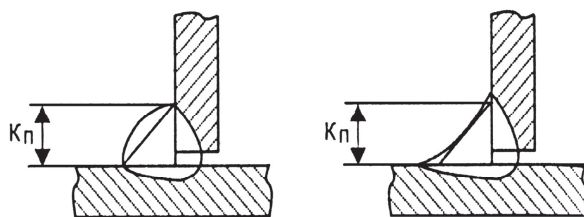
**Угловой шов** – это сварной шов углового, нахлесточного или таврового соединения.

Угловые швы накладываются в угол, образованный соединяемыми элементами, расположенными в разных плоскостях, и могут состоять из одного или нескольких валиков (рис. 1.19).



**Рис. 1.19. Угловой шов, образованный несколькими валиками**

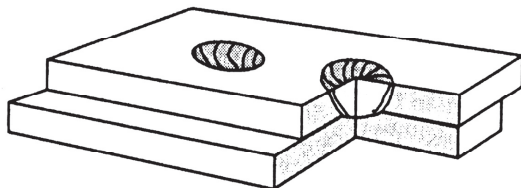
Нормальный угловой шов имеет вид равнобедренного треугольника, имеющего небольшую выпуклость. В соединениях, воспринимающих динамические усилия, угловые швы должны быть с вогнутой поверхностью. ГОСТом допускается выпуклость и вогнутость углового шва до 30 % его катета. При этом вогнутость не должна приводить к уменьшению значения катета  $K_n$  (величина катета углового шва, установленная при проектировании). Проектной величиной катета ( $K_n$ ) является катет наибольшего прямоугольного треугольника, вписанного во внешнюю часть углового шва (рис. 1.20). При симметричном шве за катет  $K_n$  принимается любой из равных катетов, при несимметричном шве – меньший.



**Рис. 1.20. Проектная величина катета ( $K_n$ ) угловых швов**

**Точечные швы.** Точечным швом называется сварной шов, в котором связь между сваренными частями осуществляется сварными точками. Сварная точка – это элемент точечного шва, представляющий собой в плане круг или эллипс.

Точечные швы применяются для сварки нахлесточных соединений с отверстием в верхнем элементе (рис. 1.21). Отверстие может быть с вертикальными стенками или иметь скос кромки. Точечные швы имеют много общего с угловыми швами, за исключением того, что сечение шва образуется в результате заполнения отверстия в пластине наплавленным металлом. Данный тип сварных швов не получил широкого распространения.



**Рис. 1.21. Точечный шов нахлесточного соединения**

**По протяженности** сварные швы делятся на непрерывные, прерывистые и прихватки.

**Непрерывный шов** – это сварной шов без промежутков по длине. Непрерывный шов проходит по всей длине соединения, от одного конца к другому. В конструкциях, предназначенных обеспечить максимальную прочность и герметичность, все швы следует выполнять непрерывными.

**Прерывистый шов** – это сварной шов с промежутками по длине (рис. 1.22). Прерывистые швы не применяются в тех случаях, когда от конструкции требуется максимальная прочность или герметичность. Однако на неотчетственных конструкциях (сварка ограждений, настила и т. п.) использование прерывистых швов может дать ощутимый экономический эффект, и стоимость проведения сварочных работ может быть значительно снижена.

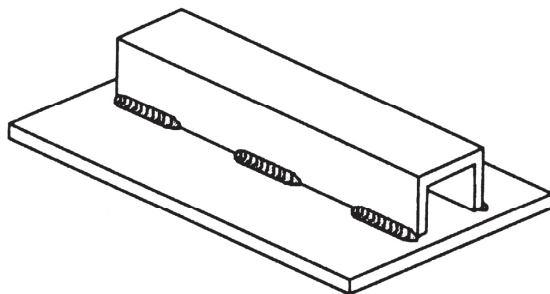


Рис. 1.22. Прерывистый шов

Частота и протяженность прерывистых швов зависят от толщины свариваемого металла, вида соединения, способа сварки и характера выполняемой работы. В большинстве случаев расстояние между участками прерывистого шва должно быть: в конструкциях, работающих на сжатие, не более  $16\delta$ , а в конструкциях, работающих на растяжение, – не более  $30\delta$ , где  $\delta$  – толщина свариваемого металла.

Данный тип швов обычно применяется для сварки нахлесточных и тавровых соединений. Иногда прерывистые швы используются для стыковых соединений без разделки кромок и практически никогда не применяются для стыковых соединений с разделкой кромок.

Разновидностью прерывистых швов являются: цепной прерывистый шов и шахматный прерывистый шов.

**Цепной прерывистый шов** – это двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки расположены по обеим сторонам стенки один против другого (рис. 1.23, а).

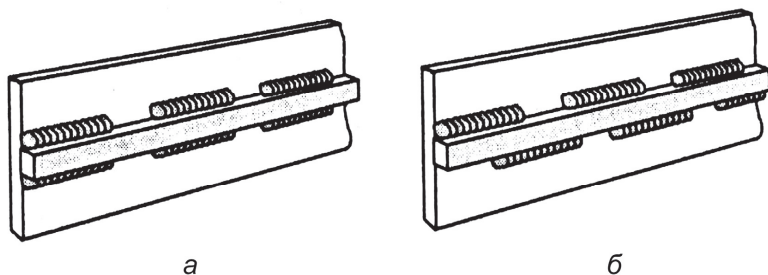


Рис. 1.23. Цепной прерывистый (а) и шахматный прерывистый (б) швы

**Шахматный прерывистый шов** – это двухсторонний прерывистый шов, у которого промежутки на одной стороне расположены против сваренных участков шва с другой ее стороны (рис. 1.23, б).

**Прихватка** – это короткий сварной шов для фиксации взаимного расположения подлежащих сварке деталей. Конструкции, изготавливаемые с помощью сварки, очень часто состоят из множества различных элементов. Эти элементы, собираемые с помощью сварки, и образуют окончательное сварное изделие. В процессе сборки возникает необходимость присоединения какого-то элемента к основной конструкции перед его сваркой. Это обеспечивается путем наложения серии коротких швов, расположенных друг от друга на некотором расстоянии.

Прихватки должны быть достаточно прочными, для того чтобы удержать элемент в нужном положении и не разрушиться под действием деформаций, возникающих при сварке изделия. Часто возникает необходимость подвергнуть только что прихваченный элемент холодной обработке (например, изгибу кручению и т. п.), что приводит к появлению весьма значительных нагрузок на прихватки. Количество и сечение прихваток определяются толщиной свариваемого металла, протяженностью шва, нагрузкой от холодной обработки, которую придется выдержать прихваткам, а также от применяемой технологии сварки.

Прихватки должны иметь хорошее проплавление в корневой части шва, иметь хорошее сплавление с кромками, ровную и плоскую поверхность, не иметь выпуклостей и бугристостей на наружной поверхности. Прихватки рекомендуется выполнять с повышенным тепловложением.

По положению относительно действующей силы сварные швы подразделяются на: фланговые (*а*), лобовые (*б*) и косые (*в*) (рис. 1.24).

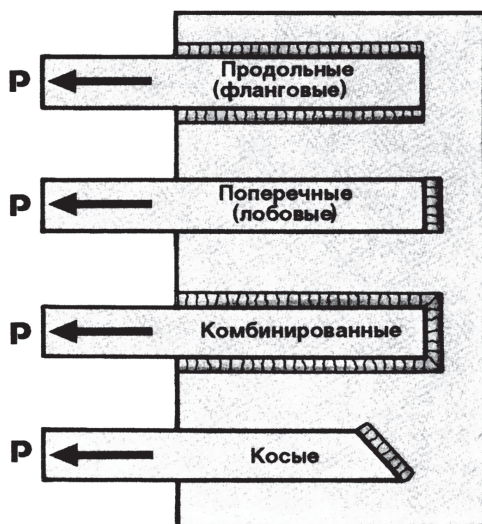


Рис. 1.24. Типы сварных швов по отношению к направлению действующих на них усилий: продольные (*а*), поперечные (*б*), комбинированные (*в*) и косые (*г*)

*Лобовой стыковой шов* передает приложенное усилие равномерно по всему сечению с наименьшими местными напряжениями. Прочность соединения не зависит от типа разделки кромок свариваемых элементов и при правильном производстве работ практически одинакова. Необходимо тщательно заваривать концы швов, особенно косых, не оставляя недоваров или незаверенных кратеров, которые могут служить очагами концентрации напряжений и появления трещин. Для полного провара всей ширины листов целесообразно концы швов выводить на временно прихваченные планки, после чего их обрубать заподлицо с краями листа.

При превышении допустимых пределов нагрузки разрушение стыкового соединения может произойти как по шву, так и по основному металлу, поскольку наплавленный металл практически может не уступать по прочности основному.

Лобовой двухсторонний угловой шов нахлесточного соединения в большинстве случаев имеет неравномерное распределение нагрузки. Распределение напряжений по длине флангового шва в упругой стадии работы происходит неравномерно, в крайних точках возникают большие перенапряжения. Очень короткие фланговые швы испытывают большое влияние изгиба, который, суммируясь со срезом, понижает их прочность. Поэтому техническими условиями установлена наименьшая длина угловых швов, равная четырем катетам шва, но не менее 40 мм. Расчетная длина флангового шва должна быть не более 85 катетов, за исключением швов, в которых усилие действует на всем протяжении шва. Размер нахлестки, как для фланговых, так и для лобовых швов должен быть не менее пяти толщин наиболее тонкого из свариваемых элементов.

Наибольшее срезающее напряжение угловых швов, как лобовых, так и фланговых, получается, по минимальному сечению шва, проходящему по биссектрисе угла шва. По этому сечению обычно и происходит разрушение угловых швов. При расчетах на срез по опасному сечению толщину углового шва принимают равной  $0,7k$ , где  $k$  – катет углового шва.

Разрушение лобовых швов происходит с весьма малыми удлинениями, порядка 4...6 %. Хрупкость лобовых швов определяется не только малой пластичностью наплавленного металла, но и большими усадочными и местными пиковыми напряжениями, сосредоточенными в корне шва.

Статическая прочность фланговых швов несколько меньше, чем лобовых, так как разрушение их происходит в основном от среза при незначительном воздействии изгиба. Пластические свойства фланговых швов незначительны, и после появления у начала шва первой трещины разрушение происходит достаточно быстро.

При соединении лобовыми швами необходимо стремиться к осуществлению двухсторонней заварки. Нахлесточное соединение с односторонним швом

имеет пониженную прочность вследствие большого влияния эксцентриситета. Большой эксцентриситет имеет и нахлесточное соединение с двухсторонним швом, но с малой величиной нахлестки.

При выполнении нахлесточных соединений только фланговыми швами необходимо, чтобы длина шва была больше ширины детали. При невозможности выполнения этого условия производят обварку по контуру как лобовыми, так и фланговыми швами. При этом ввиду различных модулей упругости лобовых и фланговых швов усилия между ними распределяются неравномерно. Лобовой шов, как более жесткий, воспринимает большую долю усилия при одних и тех же сдвигах и потому оказывается более напряженным. Однако пластические деформации выравнивают напряжения в этих швах. Поэтому расчет такого соединения производится так же, как и фланговых швов.

Обварка по контуру повышает прочность соединения по сравнению с лобовыми или фланговыми швами, но пересечение лобовых и фланговых швов — понижает. В углах создается повышенная концентрация напряжений, поэтому при обварке по контуру их желательно не обваривать (рис. 1.25).

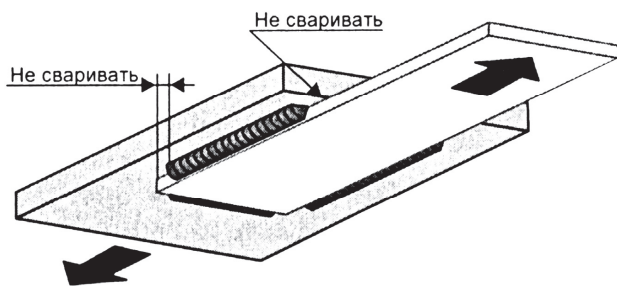


Рис. 1.25. Обварка детали по контуру

В конструкциях, работающих на регулярное воздействие подвижных нагрузок или на вибрационные нагрузки, лобовые швы должны быть пологими, а фланговые швы — вогнутыми.

**Положение в пространстве.** Приняты следующие положения сварки (рис. 1.26): нижнее стыковое и в «лодочку»; нижнее тавровое; горизонтальное; потолочное стыковое; потолочное тавровое; вертикальное снизу вверх; вертикальное сверху вниз; наклонное под углом  $45^\circ$ .

В процессе сварки на расплавленный металл сварочной ванны действует ряд сил, соотношение которых влияет на условия формирования шва. Равновесие сварочной ванны в различных пространственных положениях определяется в основном действием трех сил: давления дуги, поверхностного натяжения жидкого металла сварочной ванны и веса сварочной ванны.

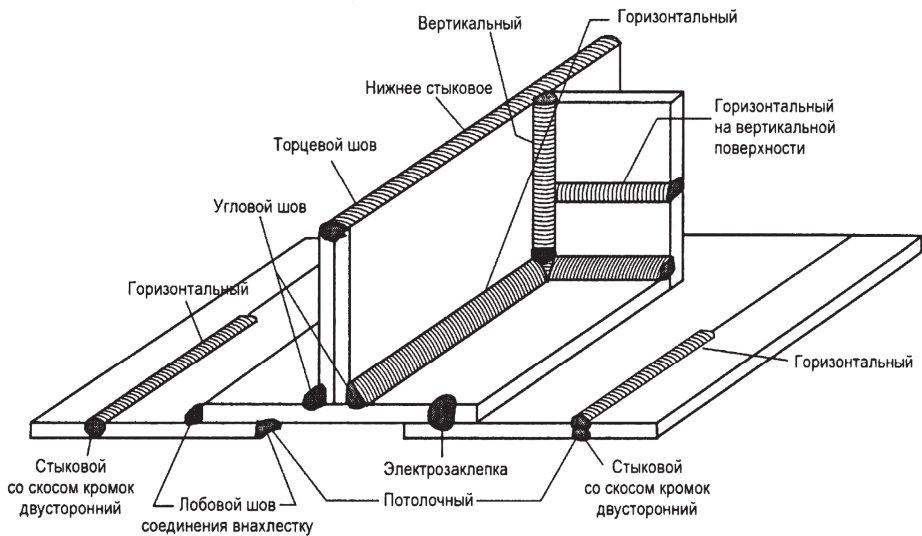


Рис. 1.26. Типы сварных швов и их положение в пространстве

*Нижнее положение сварки* – положение, когда плоскость, в которой расположен шов сварного соединения, находится под углом от  $0$  до  $10^\circ$  по отношению к горизонтальной плоскости (рис. 1.27 и 1.28).

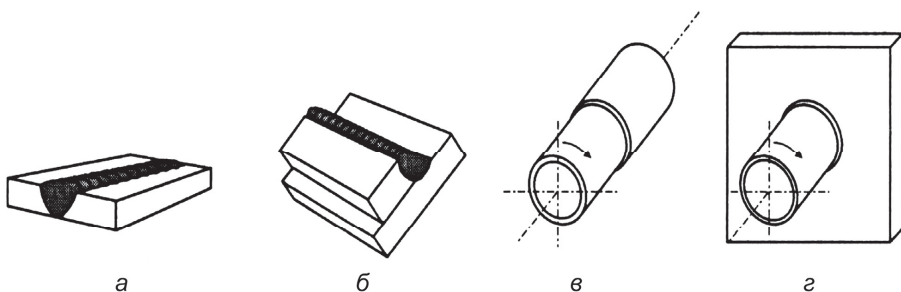


Рис. 1.27. Положение при сварке стыковых и тавровых швов: нижнее стыковое (а) и в «подочку» (б), нижнее при горизонтальном расположении осей труб, свариваемых с поворотом (в–г)

При сварке в нижнем положении поверхность сварочной ванны занимает горизонтальное положение, что создает наиболее благоприятные условия для формирования шва, так как жидкий металл удерживается на свариваемой поверхности под действием силы поверхностного натяжения.