

Г. Г. ЧЕРНЫШОВ

# СВАРОЧНОЕ ДЕЛО

## СВАРКА И РЕЗКА МЕТАЛЛОВ

### УЧЕБНИК

*Допущено*

*Экспертным советом по профессиональному образованию  
в качестве учебника для использования в учебном процессе  
образовательных учреждений, реализующих программы начального  
профессионального образования*

7-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2013

УДК 621.791(075.32)

ББК 34.641

Ч-49

Рецензенты:

преподаватель спецтехнологии сварки

ГОУ СПО Политехнический колледж № 31 г. Москвы *В. А. Грошев*;

д-р техн. наук, проф. *А. С. Зубченко*

### **Чернышов Г. Г.**

Ч-49 Сварочное дело : Сварка и резка металлов : учебник для нач. проф. образования / Г. Г. Чернышов. — 7-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 496 с.

ISBN 978-5-7695-9633-9

Приведены подробные сведения о дуговой, электрошлаковой и газовой сварке, термической резке металлов, сварочном оборудовании и материалах, технологии сварки сталей, чугуна, цветных металлов и сплавов. Изложены методы неразрушающего контроля сварных соединений.

Учебник может быть использован при освоении профессионального модуля ПМ.02 «Сварка и резка деталей из различных сталей, цветных металлов и их сплавов, чугунов во всех пространственных положениях» (МДК.02) по профессии 150709.02 «Сварщик».

Для учащихся учреждений начального профессионального образования и слушателей курсов переподготовки, осваивающих профессию «Сварщик (электросварочные и газосварочные работы)».

УДК 621.791(075.32)

ББК 34.641

*Оригинал-макет данного издания является собственностью  
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом  
без согласия правообладателя запрещается*

© Чернышов Г. Г., 2008

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-9633-9

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Современный технический прогресс в промышленности неразрывно связан с совершенствованием сварочного производства.

Сварка — такой же необходимый технологический процесс, как и обработка металлов резанием, литье,ковка и штамповка. Высокая производительность и технологические возможности сварки обеспечили ее широкое применение для создания неразъемных соединений при производстве металлургического, химического и энергетического оборудования, различных трубопроводов, изготовлении и ремонте судов, автомобилей, самолетов, турбин, котлов, реакторов, строительных и других конструкций.

Перспективы сварки как в научном, так и в техническом плане безграничны. Ее применение способствует совершенствованию машиностроения и развитию ракетостроения, атомной энергетики и радиоэлектроники.

В России о возможности использования «электрических искр» для плавления металлов еще в 1753 г. говорил академик Петербургской академии наук Г. В. Рихман, занимавшийся исследованиями атмосферного электричества. В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской медико-хирургической академии В. В. Петров открыл явление электрической дуги и указал возможные области ее практического применения. Однако потребовались многолетние совместные усилия ученых и инженеров, направленные на разработку источников энергии, необходимых для реализации процесса электрической сварки металлов. Важную роль в создании таких источников сыграли открытия и изобретения в области магнетизма и электричества.

В 1882 г. русский ученый-инженер Н. Н. Бенардос, работая над созданием аккумуляторных батарей, открыл способ электродуговой сварки металлов неплавящимся угольным электродом. Им была разработана дуговая сварка в защитном газе и дуговая резка металлов.

В 1888 г. русский инженер Н. Г. Славянов предложил производить сварку плавящимся металлическим электродом. С его именем связано развитие металлургических основ электрической дуговой сварки, разработка флюсов для воздействия на состав металла шва и создание первого автоматического генератора.

В середине 1920-х гг. исследования процесса сварки проводили во Владивостоке (В. П. Вологдин, Н. Н. Рыкалин, Г. К. Татур, С. А. Данилов), Москве (Г. А. Николаев, К. К. Хренов, К. В. Любавский), Ленинграде (В. П. Никитин, А. А. Алексеев, Н. О. Окерблом) и Киеве, где Е. О. Патон в 1929 г. организовал лабораторию, а затем Институт электросварки АН УССР (ИЭС).

В 1924—1935 гг. применяли в основном ручную сварку электродами с тонкими ионизирующими (меловыми) покрытиями. В эти годы под руководством В. П. Вологодина были изготовлены первые отечественные котлы и корпуса нескольких судов. В 1935—1939 гг. начали использовать толстопокрытые электроды, стержни которых изготавливали из легированной стали, что обеспечило широкое распространение сварки в промышленности и строительстве. В 1940-е гг. была разработана сварка под флюсом, которая позволила повысить производительность процесса и качество сварных соединений, а также механизировать производство сварных конструкций. В начале 1950-х гг. в ИЭС им. Е. О. Патона была разработана электрошлаковая сварка, благодаря чему снизились затраты на изготовление крупногабаритных деталей из литых и кованных заготовок для оборудования тяжелого машиностроения.

С 1948 г. в промышленности применяют ручную дуговую сварку неплавящимся электродом, а также механизированную и автоматическую сварку неплавящимся и плавящимся электродами в аргоне. В 1950-х гг. в ЦНИИТМАШе при участии МВТУ им. Н. Э. Баумана и ИЭС им. Е. О. Патона был разработан высокопроизводительный процесс сварки плавящимся электродом низкоуглеродистых и низколегированных сталей в углекислом газе, обеспечивающий высокое качество сварных соединений.

В последние десятилетия создание учеными новых источников энергий — концентрированного электронного и лазерного луча — обусловило появление принципиально новых способов сварки плавлением, названных электронно-лучевой и лазерной сваркой, которые успешно применяются в промышленности. С развитием обитаемых орбитальных станций сварка потребовалась и в космосе. Наши космонавты В. Н. Кубасов и Г. С. Шонин в 1969 г., а С. Е. Савицкая и В. А. Джанибеков в 1984 г. выполнили в космосе сварку, резку и пайку различных металлов.

Газовая сварка, при осуществлении которой для плавления металла используют теплоту горячей смеси газов, была разработана в конце XIX в., когда началось промышленное производство кислорода, водорода и ацетилена. Она стала основным способом сварки металлов. Наибольшее распространение получила газовая сварка с применением ацетилена. В настоящее время объем газосварочных работ в промышленности значительно сокращен, но этот способ сварки успешно используется при наплавочных работах, ремонте изделий из тонколистовой стали, алюминия и его

сплавов, пайке и сварке меди, латуни и других цветных металлов и их сплавов.

В современных производственных процессах при выполнении заготовительных операций в цеховых условиях и монтаже широко применяют газотермическую резку.

Контактная сварка, при осуществлении которой используется теплота, выделяющаяся в области контакта свариваемых частей при прохождении электрического тока, относится к способам сварки с применением давления. Различают точечную, стыковую, шовную, рельефную и конденсаторную контактную сварку.

Основные способы контактной сварки разработаны в конце XIX в. В 1887 г. Н. Н. Бенардос получил патент на способы точечной и шовной контактной сварки между угольными электродами. Позднее, когда появились электроды из меди и ее сплавов, эти способы контактной сварки стали основными.

Контактная сварка занимает ведущее место среди механизированных способов сварки в автомобилестроении при соединении тонколистовых штампованных конструкций кузова автомобиля. Стыковой сваркой соединяют стыки железнодорожных рельсов и магистральных трубопроводов. Шовную сварку применяют при изготовлении тонкостенных емкостей. Рельефная сварка — наиболее высокопроизводительный способ сварки плоскостных тонколистовых панелей и арматуры для строительных железобетонных конструкций. Конденсаторную контактную сварку широко используют в радиотехнической промышленности при изготовлении элементной базы и микросхем.

Одно из наиболее перспективных направлений в сварочном производстве — широкое применение механизированной и автоматической сварки. Речь идет как о механизации и автоматизации самих сварочных процессов (т. е. переходе от ручного труда сварщика к механизированному), так и о комплексной механизации и автоматизации всех видов работ (заготовительные, сборочные и др.), связанных с изготовлением сварных конструкций и созданием поточных и автоматических производственных линий.

С развитием техники возникает необходимость сваривать детали толщиной от нескольких микрометров (в микроэлектронике) до десятков сантиметров и даже метров (в тяжелом машиностроении). Все чаще в сварных конструкциях наряду с углеродистыми и низколегированными сталями используют специальные стали, легкие сплавы и сплавы на основе титана, молибдена, хрома, циркония и других металлов, а также разнородные и композиционные материалы, в связи с чем постоянно расширяется набор применяемых видов и способов сварки.

В условиях непрерывного усложнения конструкций и роста объема сварочных работ важную роль играет теоретическая и практическая подготовка квалифицированных рабочих-сварщиков. Вы-

сококвалифицированные рабочие, выполняющие сварку ответственных конструкций, сосудов, работающих под давлением, и различных трубопроводов, должны подтверждать свою квалификацию через каждые два года. При этом сварщик сдает аттестационной комиссии теоретический и практический экзамены.

Материал учебника, базирующийся на положениях химии, физики, технологии металлов и конструкционных материалов, электротехники и других технических предметов, содержит сведения о сварке с учетом перечня вопросов теоретического экзамена при аттестации сварщиков.

В приложении представлена классификация электродов для сварки согласно зарубежным стандартам: международному (ISO), европейскому (EN), американскому (AWS) и немецкому (DIN).

Учебник предназначен для получающих начальную профессиональную подготовку по выполнению электро- и газосварочных работ.

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ОСНОВЫ ТЕОРИИ СВАРКИ  
ПЛАВЛЕНИЕМ И РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ**

---

## ГЛАВА 1

**ВИДЫ СВАРКИ. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ****1.1. Понятие о сварке и ее сущность**

Конструкции сложной формы, как правило, получают, объединяя друг с другом отдельные элементы (детали, сборочные узлы) с помощью разъемных или неразъемных соединений. Металлическую конструкцию, изготовленную сваркой отдельных деталей, называют *сварной*, а часть конструкции, в которой сварены примыкающие друг к другу элементы, — *сварным узлом*.

Сваркой соединяют преимущественно детали из металлов, однако сварные соединения применяют и для деталей из неметаллов — пластмасс и сочетаний керамики с металлами.

Для сварных соединений металлов характерно возникновение металлической связи, обусловленной взаимодействием электронов и ионов их кристаллических решеток. При сварке керамики с металлами или только керамических материалов возрастает доля ионной составляющей связи.

Для получения сварного соединения недостаточно простого соприкосновения поверхностей соединяемых деталей. Межатомные связи образуются только тогда, когда атомы соединяемых деталей получают некоторую дополнительную энергию, необходимую для преодоления существующего между ними энергетического барьера и называемую *энергией активации*. При сварке ее вводят в зону соединения извне путем нагрева (термическая активация) или пластического деформирования (механическая активация).

Сближение свариваемых частей и введение энергии активации в зону сварки — необходимые условия для образования неразъемных сварных соединений.

В зависимости от характера активации при выполнении соединений различают два основных вида сварки — плавлением и давлением.

При сварке *плавлением* соединяемые кромки деталей оплавляются под действием внешнего источника теплоты. Расплавленный

металл, сливаясь в общий объем, образует жидкую сварочную ванну. При ее охлаждении жидкий металл затвердевает и образует сварной шов. Шов может быть получен за счет расплавления металла только свариваемых кромок или металла кромок и присадочного металла, дополнительно вводимого в сварочную ванну.

При сварке *давлением* осуществляют совместное пластическое деформирование кромок свариваемых деталей. Благодаря пластической деформации облегчается установление межзатомных связей соединяемых частей. Для ускорения процесса применяют сварку давлением с нагревом. При некоторых способах сварки давлением нагрев осуществляют до оплавления металла свариваемых поверхностей или промежуточных вспомогательных прокладок, а воздействие давления возможно в непрерывном или прерывистом режиме.

ГОСТ 2601—84\* «Сварка металлов. Термины и определения основных понятий» устанавливает ряд терминов и определений основных понятий для сварных соединений и швов при сварке металлов.

*Сварка* — процесс получения неразъемных соединений посредством установления межзатомных связей между соединяемыми частями при их местном или общем нагреве, пластическом деформировании или совместном действии того и другого.

*Сварные соединения* — неразъемные соединения, выполненные сваркой. В сварное соединение входят сварной шов, прилегающая к нему зона основного металла, в которой в результате теплового воздействия сварки произошли структурные и другие изменения (зона термического влияния), и примыкающие к ней участки основного металла без структурных изменений.

*Сварной шов* представляет собой участок сварного соединения, образовавшийся в результате кристаллизации расплавленного металла сварочной ванны.

*Основной металл* — металл подвергающихся сварке соединяемых частей.

*Зона термического влияния* — участок основного металла, не подвергшийся расплавлению, структура и свойства которого изменились в результате нагрева при сварке или наплавке.

*Сварочная ванна* — это часть металла свариваемого шва, находящаяся при сварке плавлением в жидком состоянии.

Углубление, образующееся в конце валика под действием давления дуги и вследствие объемной усадки металла шва, называют *кратером*.

Металл, вводимый в сварочную ванну в дополнение к расплавленному основному металлу, называют *присадочным*.

*Наплавленный металл* — это переплавленный присадочный металл, введенный в сварочную ванну или наплавленный на основной металл.



Сплав, образованный расплавленным основным и наплавленным металлами или только переплавленным основным, называют *металлом шва*.

## 1.2. Классификация видов сварки

В настоящее время существует более 150 сварочных процессов, которые классифицируют в соответствии с ГОСТ 19521—74 по физическим, техническим и технологическим признакам.

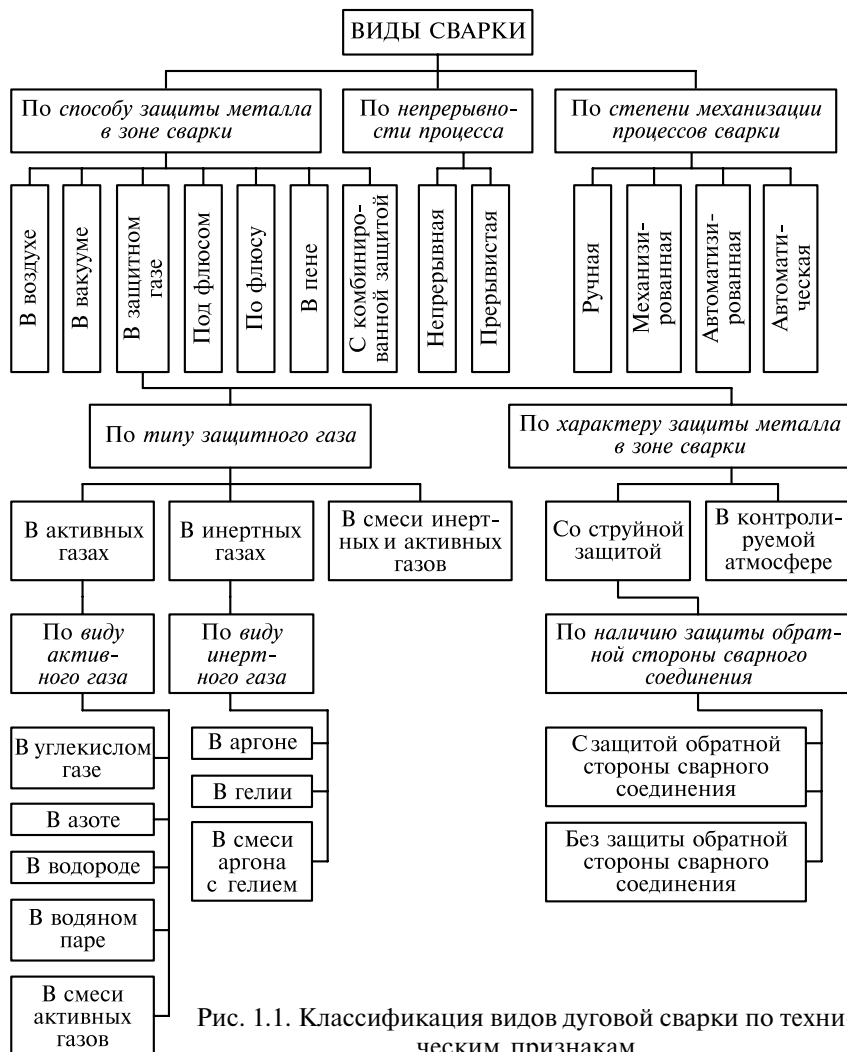


Рис. 1.1. Классификация видов дуговой сварки по техническим признакам

*Физическими* признаками являются виды энергии и ее источника, непосредственно применяемого для получения сварного соединения.

По *виду энергии* все сварочные процессы относят к одному из трех классов: термическому, термомеханическому и механическому.

Термический класс включает в себя виды сварки плавлением (дуговая, плазменная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерная, газовая, термитная и др.), осуществляемой с использованием различных источников тепловой энергии.

Термомеханический класс объединяет виды сварки (контактная, диффузионная, газо- и дугопрессовая, индукционно-прессовая, печная и др.), выполняемой с применением источников тепловой энергии и давления.

Механический класс включает в себя виды сварки давлением (холодная, ультразвуковая, магнитоимпульсная, сварка трением и взрывом), осуществляемой с использованием источников механической энергии и давления.

*Техническими* признаками классификации сварочных процессов являются способы защиты металла в зоне сварки, непрерывность процесса и степень его механизации. Классификация видов дуговой сварки по техническим признакам приведена на рис. 1.1.

*Технологические* признаки классификации устанавливают для каждого вида сварки отдельно. Например, дуговая сварка может отличаться по виду электрода и дуги, роду и полярности тока, числу электродов и наличию внешнего воздействия на процесс формирования шва.

### **1.3. Виды и способы сварки плавлением**

Рассмотрим виды и способы сварки плавлением, наиболее широко применяемые в промышленности.

**Дуговая сварка.** При этом виде сварки плавлением, который может быть осуществлен несколькими способами, источником нагрева является сварочная дуга, представляющая собой устойчивый электрический разряд, происходящий в газовой среде между двумя электродами или электродом и деталью. Для поддержания разряда необходимой продолжительности разработаны специальные источники питания. При дуговой сварке на переменном токе применяют сварочные трансформаторы, при сварке на постоянном токе — сварочные выпрямители или сварочные агрегаты.

При горении дуги и плавлении свариваемого и электродного металлов необходима защита свариваемого металла и сварочной ванны от воздействия атмосферных газов — кислорода, азота и водорода, так как они растворяются в жидком металле и ухудша-

ют качество металла шва. Согласно классификации дуговых сварочных процессов, проводимой в соответствии с техническими признаками, в зависимости от *способа защиты свариваемого металла и сварочной ванны* от воздействия окружающей среды могут быть выделены следующие наиболее распространенные способы дуговой сварки: в защитном газе, под флюсом и с комбинированной защитой. По *степени механизации процесса* различают ручную, механизированную и автоматическую дуговую сварку.

Основным технологическим признаком классификации является *вид электрода*. По этому признаку различают дуговую сварку плавящимся и неплавящимся электродами. К плавящимся относятся покрытые электроды, металлическая проволока и стержни из стали, сплавов алюминия, титана, никеля, меди и других металлов; к неплавящимся — угольные, графитовые и вольфрамовые стержни и электроды из других тугоплавких металлов.

Приведем краткое описание и характеристики основных способов дуговой сварки.

**Ручная дуговая сварка.** При данном способе сварки (рис. 1.2) возбуждение дуги, подачу электрода и его перемещение осуществляют вручную. Сварку выполняют покрытым электродом, представляющим собой металлический стержень с нанесенным на его поверхность покрытием (обмазкой). Электродное покрытие готовят из порошкообразной смеси различных компонентов. Оно предназначено для металлургической обработки сварочной ванны, обеспечения защиты расплавленного металла от воздействия атмосферных газов, повышения устойчивости горения дуги и качества сварного шва.

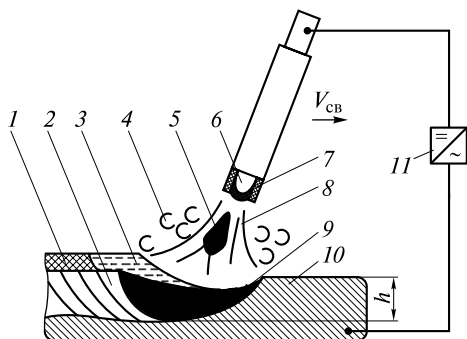


Рис. 1.2. Схема ручной дуговой сварки покрытым электродом:

1 — шлаковая корка; 2 — шов; 3 — жидкая шлаковая пленка; 4 — газовая защита; 5 — капля электродного металла; 6 — металлический стержень; 7 — электродное покрытие; 8 — дуга; 9 — сварочная ванна; 10 — основной металл; 11 — источник питания дуги;  $h$  — глубина проплавления основного металла;  $V_{св}$  — скорость сварки

Сварной шов образуется вследствие кристаллизации расплавленного металла свариваемых кромок и стержня сварочного электрода. Сварщик осуществляет вручную два основных технологических движения: подачу покрытого электрода в зону сварки по мере его расплавления и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок.

Ручная дуговая сварка покрытыми электродами — один из наиболее распространенных способов сварки, используемых при изготовлении сварных конструкций. Она отличается простотой и универсальностью, возможностью выполнения соединений в различных пространственных положениях и труднодоступных местах. Ее существенный недостаток — малая производительность процесса и зависимость качества шва от квалификации сварщика.

Дуговая сварка под флюсом. При осуществлении этого процесса дуга горит под слоем сварочного флюса (рис. 1.3). Сварочная проволока и флюс подаются в зону горения дуги. Под воздействием выделяющейся теплоты плавятся кромки основного металла, электродная проволока и часть флюса. Вокруг дуги образуется газовая полость, заполненная парами металла и материалов, входящих в состав флюса. По мере перемещения дуги расплавленный флюс всплывает на поверхность сварочной ванны, образуя шлак. Расплавленный флюс защищает зону горения дуги от воздействия атмосферных газов, что значительно повышает качество металла шва. Сварку под флюсом выполняют на полуавтоматах и автоматах и применяют для соединения металлов средней и большой толщины.

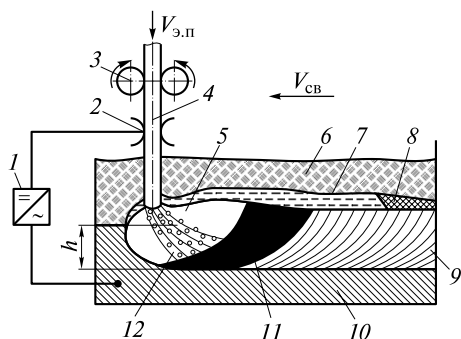


Рис. 1.3. Схема сварки под флюсом:

1 — источник питания дуги; 2 — скользящий контакт (токоподвод); 3 — подающий ролик; 4 — электродная проволока; 5 — газовая полость; 6 — флюс; 7 — расплавленный флюс; 8 — затвердевший шлак; 9 — шов; 10 — основной металл; 11 — сварочная ванна; 12 — сварочная дуга;  $V_{св}$ ,  $V_{э.п}$  — скорости сварки и подачи электродной проволоки;  $h$  — глубина проплавления основного металла

Сварочный электрод представляет собой проволоку, свернутую в бухту. Подача проволоки в зону горения дуги механизирована, а перемещение дуги по свариваемым деталям выполняется вручную или специальными механизмами. Дуговая сварка под флюсом отличается высокой производительностью и качеством получаемых соединений. К недостаткам процесса следует отнести трудность сварки деталей небольшой толщины, коротких швов и швов в пространственных положениях, отличных от нижнего.

Дуговая сварка в защитных газах. При этом способе сварки (рис. 1.4) дуга и расплавленный металл, а в некоторых случаях и неостывший шов находятся в защитном газе, подаваемом в зону сварки с помощью специальных устройств. При этом можно использовать как неплавящийся, так и плавящийся электроды, а процесс выполнять ручным, механизированным или автоматическим способом. При сварке неплавящимся электродом металлов большой толщины применяют присадочную проволоку. В качестве защитных газов используют углекислый газ, аргон, гелий и в ряде случаев азот (для сварки меди). В последнее время чаще всего применяют смеси аргона с кислородом, аргона с гелием или аргона с углекислым газом и кислородом.

В процессе сварки защитные газы, подаваемые в зону горения дуги через сопло сварочной горелки, оттесняют атмосферные газы от электрода и сварочной ванны. Сварка в защитных газах отлича-

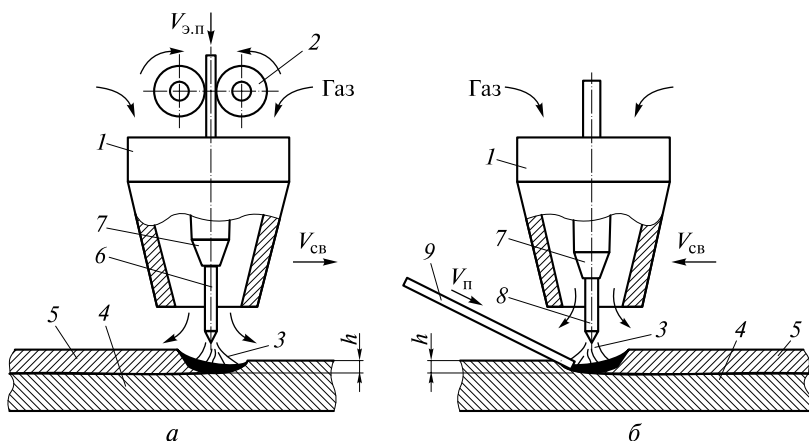


Рис. 1.4. Схема сварки в защитном газе плавящимся (а) и неплавящимся (б) электродами:

1 — сопло сварочной горелки; 2 — подающий механизм; 3 — дуга; 4 — основной металл; 5 — сварной шов; 6, 8 — плавящийся и неплавящийся (вольфрамовый) электроды; 7 — токоподвод; 9 — присадочная проволока (пруток);  $V_{св}$ ,  $V_{э.п}$ ,  $V_{п}$  — скорости сварки и подачи электродной и присадочной проволоки;  $h$  — глубина проплавления основного металла

ется большими технологическими возможностями и используется для соединения многих металлов и сплавов.

**Плазменная сварка.** Источником тепловой энергии служит сжатая дуга. Сварочный процесс основан на пропускании под давлением потока газов через электрический разряд с большой плотностью тока. В результате получают высокотемпературный ионизированный газ, называемый плазмой. Температура плазменной струи значительно выше, чем у обычной сварочной дуги. Плазменную сварку можно применять при изготовлении как тонкостенных изделий, так и деталей большой толщины из различных материалов. В качестве плазмообразующего газа чаще всего используют аргон, гелий или азот. Состав и расход плазмообразующего газа зависят от вида электрода и свариваемого материала.

**Электрошлаковая сварка.** Этот процесс (рис. 1.5) осуществляют без дугового разряда. В отличие от дуговой сварки для расплавления основного и присадочного металлов применяется теплота, выделяющаяся при прохождении сварочного тока через расплавленный электропроводящий шлак (флюс). В начале процесса дугой или в электропечи расплавляют небольшое количество флюса для получения шлаковой ванны. Затем электрод погружают в шлаковую ванну, и ток начинает проходить через расплавленный шлак. Сварку выполняют снизу вверх чаще всего при вертикальном положении свариваемых деталей, с зазором между ними. Чтобы получить шов, по обе стороны зазора устанавливают медные ползуны (кристаллизаторы), охлаждаемые водой. По мере формирования шва ползуны перемещаются в направлении сварки.

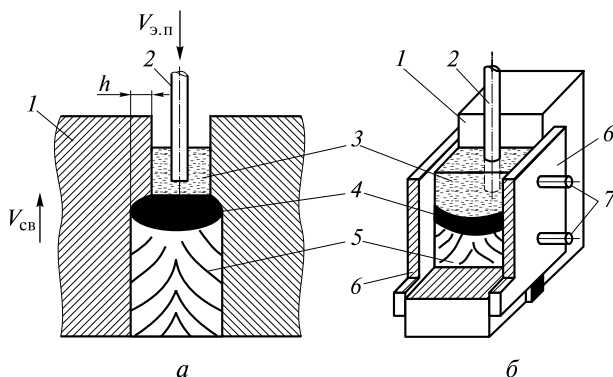


Рис. 1.5. Схема процесса электрошлаковой сварки в поперечном (а) и продольном (б) по отношению к свариваемым кромкам сечениях:

1 — основной металл; 2 — электродная проволока; 3 — расплавленный шлак; 4 — сварочная ванна; 5 — сварной шов; 6 — подвижные ползуны (кристаллизаторы); 7 — подвод охлаждающей воды;  $V_{св}$ ,  $V_{эл.п}$  — скорости сварки и подачи электродной проволоки;  $h$  — глубина проплавления основного металла

При классификации в соответствии с технологическими признаками по *виду электрода* различают электрошлаковую сварку проволочным и пластинчатым электродами, а также плавящимся мундштуком; по *наличию колебаний электрода* — сварку с колебаниями электрода и без них; по *числу электродов* — одно-, двух- и многоэлектродную сварку.

Электрошлаковую сварку обычно применяют для соединения деталей толщиной от 50 мм до нескольких метров. Электрошлаковый процесс также используют для переплава стали из отходов и получения отливок.

**Электронно-лучевая сварка.** Для нагрева применяется энергия ускоренных электронов. Сварку производят в специальной камере в глубоком вакууме (остаточное давление 13 мПа) электронным лучом, который представляет собой сфокусированный поток электронов, движущихся с высокими скоростями. Электроны излучают нагретый катод из вольфрама или спеченного твердого сплава, установленный в специальной электронной пушке. Ускорение движения электронов обусловлено постоянным высоким напряжением (до 100 кВ) между катодом и анодом (деталью).

Поток электронов фокусируется магнитной линзой в узкий луч и направляется в место соединения деталей. Энергия, необходимая для нагрева и плавления металла, выделяется в результате интенсивной бомбардировки места сварки быстро движущимися электронами.

Различают сварку без колебаний и с колебаниями электронного луча. Для регулирования вводимой в деталь теплоты сварку ведут сфокусированным или расфокусированным лучом.

Электронным лучом осуществляют сварку тугоплавких и химически активных металлов, выполняют узкие и глубокие швы с малыми остаточными деформациями деталей большой толщины (до 70 мм и более).

**Лазерная сварка.** Данный вид сварки в соответствии с технологическими признаками классификации относится к *световой сварке* (ГОСТ 19521—74 «Сварка металлов. Классификация»). Это сварка плавлением, при осуществлении которой для нагрева используется энергия излучения *лазера* (название — аббревиатура слов английского выражения, которое в переводе означает: усиление света вынужденным излучением).

Излучение лазера может быть сфокусировано в пятно диаметром несколько микрометров, что обеспечивает концентрацию энергии, в десятки раз более высокую, чем у других сварочных источников. Для сварки используют газовые и твердотельные лазеры. Газовые лазеры обеспечивают непрерывное излучение, а твердотельные — непрерывное или импульсное. Основными параметрами лазерного луча являются мощность, длительность импульса, диаметр светового пятна и положение фокуса линзы от-

носителем свариваемой поверхности. Количество световой энергии, поглощенной основным металлом, зависит от отражательной способности поверхности (в том числе от ее шероховатости), влияющей на потери светового потока вследствие его отражения.

Современные промышленные лазеры применяют для сварки, резки, наплавки и других видов обработки различных конструкционных материалов во многих специальных областях машиностроения. Промышленные газовые и твердотельные лазеры снабжены микропроцессорной системой управления. Вакуум при сварке лазером не нужен, и ее можно выполнять на воздухе, в аргоне, гелии или углекислом газе даже на значительном расстоянии от генератора излучения. С помощью газовых лазеров производится резка не только металлов, но и неметаллических материалов: слоистых пластиков, стеклотекстолита, гетинакса и др. Лазерная сварка и резка обеспечивают высокие показатели производительности и качества сварных соединений.

**Газовая сварка.** Для нагрева используют теплоту пламени смеси газов, сжигаемой с помощью горелки. Плавнение свариваемого и присадочного металлов осуществляется высокотемпературным газокислородным пламенем. В качестве горючих газов, сжигаемых в кислороде, применяют ацетилен, водород, пропан-бутановую смесь, пары керосина и бензина, природный, светильный, нефтяной, коксовый и другие газы.

**Термитная сварка.** Свариваемые детали помещают в огнеупорную форму, а в установленный сверху тигель засыпают термит — порошкообразную смесь алюминия с железной окалиной. При горении термитной смеси развивается температура, превышающая 2 000 °С, и образуется жидкий металл, который оплавляет кромки свариваемых изделий и заполняет зазор, образуя сварной шов.

#### 1.4. Сварные соединения и швы при сварке плавлением

В зависимости от параметров сварки и формы кромок свариваемых деталей доли участия основного и наплавленного металлов в формировании шва могут существенно изменяться. На рис. 1.6, *a* представлена схема поперечного сечения стыкового соединения. Площадь поперечного сечения всего шва

$$F = F_{\text{н}} + F_{\text{пр}},$$

где  $F_{\text{н}}$ ,  $F_{\text{пр}}$  — площади поперечного сечения частей шва, сформированных за счет наплавленного и основного проплавленного металлов.



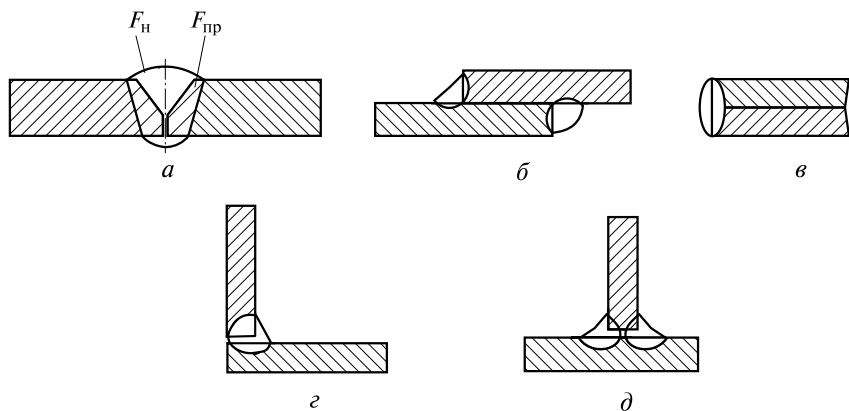


Рис. 1.6. Схемы поперечного сечения стыкового (а), нахлесточного (б), торцового (в), углового (г) и таврового (д) сварных соединений:

$F_{н}$ ,  $F_{пр}$  — площади поперечного сечения частей шва, сформированных за счет наплавленного и основного проплавленного металлов

При изменении долей участия основного и наплавленного металлов в сформированном шве его состав и, следовательно, механические, коррозионные и другие свойства могут измениться.

По *форме сопряжения* соединяемых деталей различают стыковое, нахлесточное, торцовое, угловое и тавровое сварные соединения.

*Стыковое* соединение (см. рис. 1.6, а) — это сварное соединение двух деталей, расположенных в одной плоскости и примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями. Оно наиболее распространено в сварных конструкциях, поскольку имеет ряд преимуществ перед другими типами соединений.

*Нахлесточное* соединение (рис. 1.6, б) представляет собой сварное соединение, у которого соединяемые элементы расположены параллельно и частично перекрывают друг друга.

*Торцовое* соединение (рис. 1.6, в) — это соединение, в котором боковые поверхности элементов примыкают друг к другу.

*Угловое* соединение (рис. 1.6, г) представляет собой сварное соединение двух элементов, расположенных под углом друг к другу и сваренных в месте примыкания их кромок.

*Тавровое* соединение (рис. 1.6, д) — это соединение, у которого к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом (как правило, под прямым) и приварен торцом другой элемент.

В зависимости от *типа сварного соединения* различают стыковые, угловые и точечные сварные швы. *Стыковые* швы выполняют при сварке стыковых соединений, *угловые* — при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений, *точечные* швы — при сварке нахлесточных соединений.

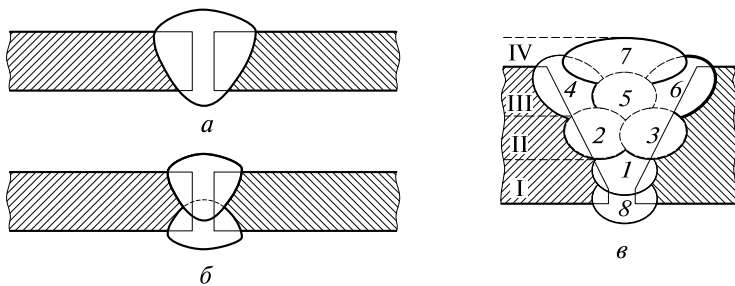


Рис. 1.7. Одно- (а) и двусторонний (б) однопроводные однослойные швы и многопроводный многослойный сварной шов (в):

1—8 — последовательность выполнения проходов; 1 — корневой шов; 7, 8 — облицовочный и подварочный швы; I—IV — слой

По числу слоев сварные швы могут быть одно- и многослойными (рис. 1.7).

Слой представляет собой часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, расположенных на одном уровне в поперечном сечении шва.

Валик — это металл шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

Часть сварного шва, наиболее удаленную от его лицевой поверхности, называют *корнем шва*.

По характеру выполнения различают одно- и двусторонние швы, свариваемые как на весу, так и на разного рода подкладках и флюсовых подушках. Часть двустороннего шва, выполняемую предварительно для предотвращения прожогов при последующей сварке или накладываемую в последнюю очередь в

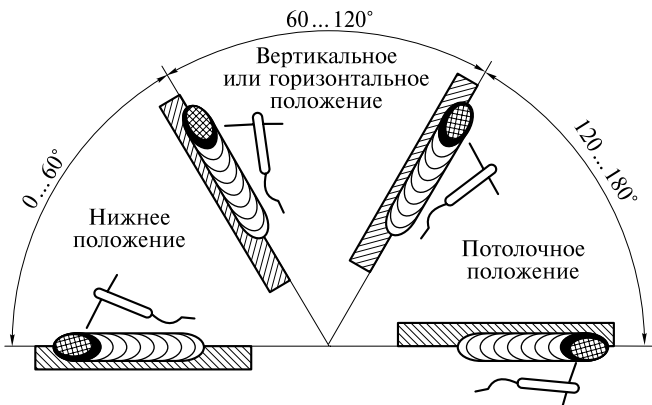


Рис. 1.8. Основные пространственные положения сварки

корень шва для обеспечения высокого качества последнего, называют *подварочным швом*.

В зависимости от *расположения швов* в конструкции сварку выполняют в разных пространственных положениях, основными из которых являются нижнее, горизонтальное, вертикальное и потолочное (рис. 1.8).

По *условиям работы* швы подразделяют на *рабочие*, воспринимающие внешние нагрузки, и *связующие* (соединительные), предназначенные только для соединения частей сварного узла и не рассчитанные на восприятие внешних нагрузок.

В соответствии с ГОСТ 2601—84\* основными геометрическими параметрами стыкового шва являются его ширина  $e$ , выпуклость  $g$ , вогнутость  $m$ , толщина  $t$  и глубина проплавления  $h$ , углового шва — катет  $k$ , расчетная высота  $p$  и толщина  $a$  (рис. 1.9).

Изображения и обозначения швов сварных соединений на чертежах изделий должны соответствовать Единой системе конструкторской документации (ЕСКД). Независимо от вида сварки видимый шов сварного соединения условно изображают сплошной основной линией, а невидимый — штриховой. Обозначение шва отмечают линией-выноской, заканчивающейся односторонней стрелкой. Характеристика шва, расположенного на лицевой стороне листа (видимый шов), проставляется над полкой линии-выноски, а шва на обратной стороне листа (невидимый шов) — под полкой. Структура условного обозначения сварных швов приведена на рис. 1.10.

Перечислим основные стандарты на виды и конструктивные элементы швов сварных соединений для различных видов сварки:

ГОСТ 5264—80 «Ручная дуговая сварка. Соединения сварные»;

ГОСТ 8713—79 «Сварка под флюсом. Соединения сварные»;

ГОСТ 14771—76 «Дуговая сварка в защитном газе. Соединения сварные»;

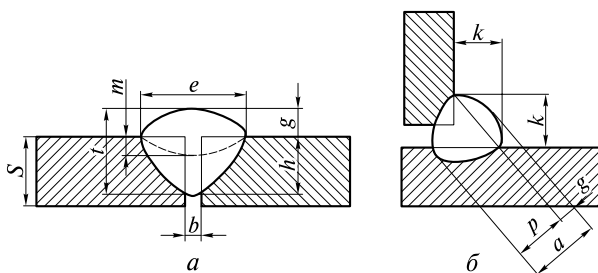


Рис. 1.9. Основные геометрические параметры стыкового (а) и углового (б) сварных швов:

$e$  — ширина;  $g$  — выпуклость;  $h$  — глубина проплавления;  $m$  — вогнутость;  $b$  — зазор;  $t$  — толщина стыкового шва;  $S$  — толщина детали;  $k$  — катет углового шва;  $p$  — расчетная высота;  $a$  — толщина углового шва

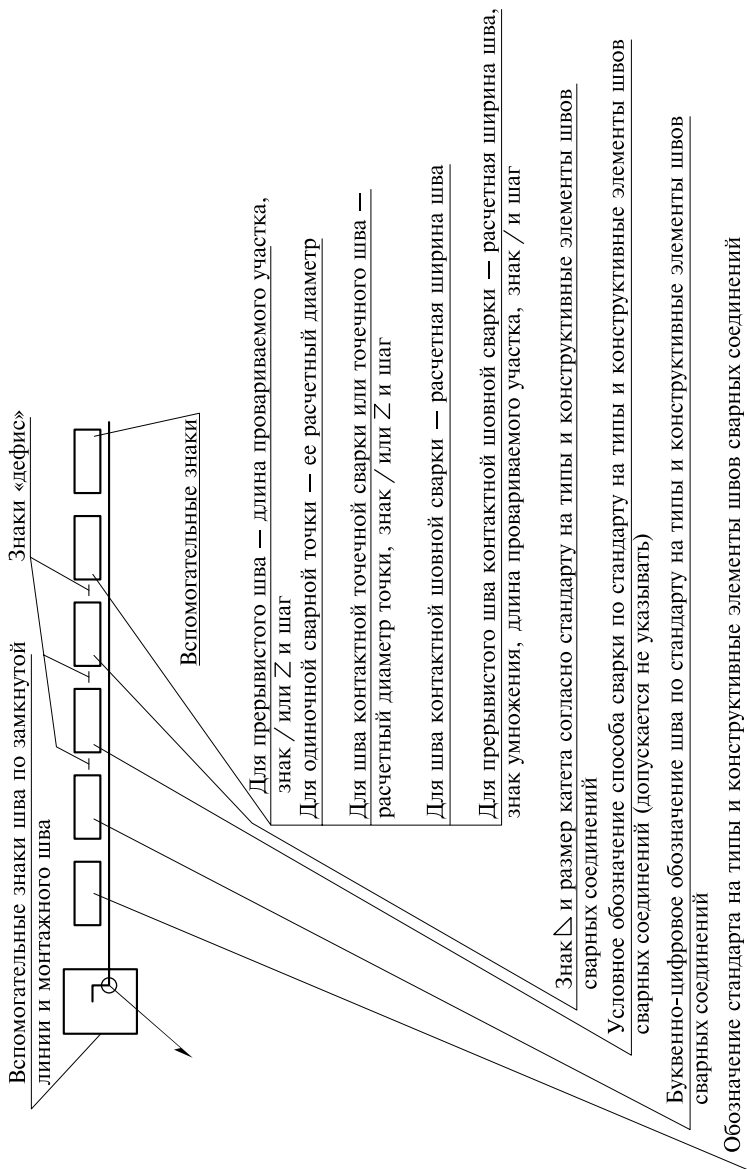


Рис. 1.10. Структура условного обозначения сварных швов на чертежах деталей

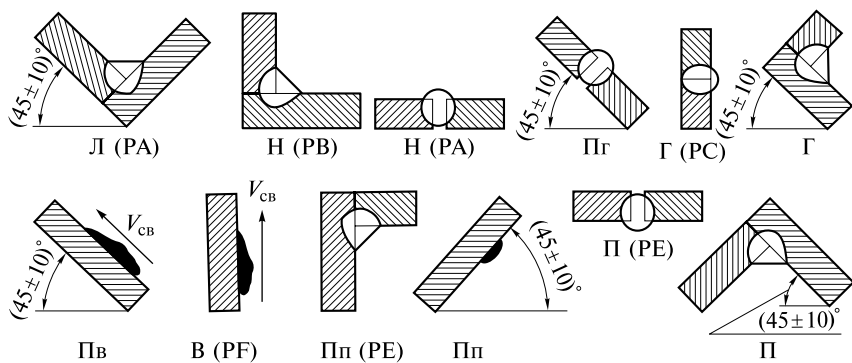


Рис. 1.11. Обозначения сварных швов, выполняемых в различных пространственных положениях (в скобках приведены существующие международные обозначения):

Л — «в лодочку»; Н — нижние; Пг — полугоризонтальные; Г — горизонтальные; Пв — полувертикальные; В — вертикальные; Пп — полупотолочные; П — потолочные;  $V_{св}$  — скорость сварки

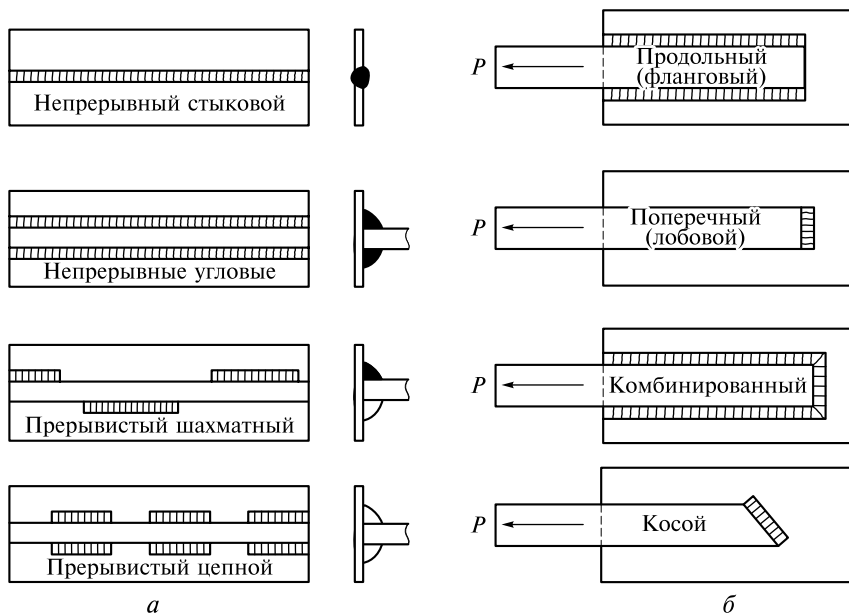


Рис. 1.12. Классификация сварных швов по протяженности (а) и направлению действующей нагрузки  $P$  (б)

## Вспомогательные знаки для условного обозначения сварных швов

| Вспомогательный знак  | Значение вспомогательного знака   | Расположение вспомогательного знака относительно линии-выноски для швов           |   |
|---|---|---|---|
|   |   | с лицевой стороны   | с обратной стороны  |
|  | Выпуклость шва снять  |  |  |
|  | Наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу |  |  |
|  | Шов выполнить при монтаже изделия   |  |   |
|  | Прерывистый или точечный цепной шов   |  |  |
|  | Прерывистый или точечный шахматный шов                                      |  |  |
|  | Шов по замкнутой линии  |  |   |
|  | Шов по незамкнутой линии  |  |  |

ГОСТ 15164—78\* «Электрошлаковая сварка. Соединения сварные»;

ГОСТ 14806—80 «Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах»;

ГОСТ 16098—80 «Соединения сварные из двухслойной коррозионно-стойкой стали»;

ГОСТ 16038—80 «Соединения сварные трубопроводов из меди и медно-никелевого сплава»;









ГОСТ 11533—75 «Автоматическая и полуавтоматическая дуговая сварка под флюсом. Соединения сварные под острыми и тупыми углами»;

ГОСТ 27580 — 88 «Дуговая сварка алюминия и алюминиевых сплавов в инертных газах. Соединения сварные под острыми и тупыми углами».

Этими стандартами в зависимости от толщины металла устанавливаются формы поперечного сечения сварных швов и размеры конструктивных элементов подготовленных кромок и выполненных швов, которым присваивают условные буквенно-цифровые обозначения. Буквенная часть указывает на вид сварного соединения: С — стыковое, У — угловое, Т — тавровое и Н — нахлесточное, цифровая — на порядковый номер типа шва в конкретном стандарте.

Таблица 1.2

**Условные обозначения сварных соединений и швов**

| Наименование шва   | Пример обозначения   |
|--|--|
| Стыковой односторонний на остающейся подкладке, со скосом двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами   |  ГОСТ 5264—80-C19   |
| Стыковой двусторонний, с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный дуговой сваркой покрытыми электродами. Участки перехода от шва к основному металлу дополнительно обработаны              |  ГОСТ 5264—80-C25  |
| Шов углового соединения односторонний, со скосом двух кромок, монтажный. Выпуклость шва снята механической обработкой  |  ГОСТ 5264—80-У9   |
| Шов таврового соединения невидимый односторонний, выполненный дуговой сваркой в углекислом газе плавящимся электродом. Шов прерывистый. Катет шва 6 мм, длина провариваемого участка 50 мм, шаг 150 мм |  ГОСТ 14771—76-T1-УПΔ6-50 Z 150   |
| Стыковой двусторонний с двумя симметричными скосами двух кромок, выполненный ручной дуговой сваркой. Обозначение упрощенное, если стандарт указан в примечаниях на чертеже                             |  C21  |
| Одинаковые швы при обозначении одного из них № 1 (уплощенное обозначение)  |  № 1  |

Приняты следующие условные обозначения основных способов сварки: Р — ручная дуговая (штучным электродом); ЭЛ — электронно-лучевая; Ф — дуговая, под слоем флюса; ПЛ — плазменная и микроплазменная; УП — в активном газе (или смеси активного и инертного газов) плавящимся электродом; ИП — в инертном газе плавящимся электродом; ИН — в инертном газе неплавящимся электродом; Г — газовая.

Стыковым и угловым швам в зависимости от их *положения в пространстве* при сварке соединений любых видов присваивают определенные буквенные обозначения (рис. 1.11), которые используются в технической документации.

По *протяженности* различают непрерывные (сплошные) и прерывистые швы. *Непрерывный шов* — это сварной шов без промежутков по длине, тогда как *прерывистый шов* имеет такие промежутки. Прерывистые швы могут быть шахматными или цепными (рис. 1.12, а).

По *направлению действующей нагрузки* швы подразделяют на продольные, поперечные, комбинированные и косые (рис. 1.12, б).

Для обозначения сварных швов используют также вспомогательные знаки (табл. 1.1). Элементы условного обозначения располагаются в указанной последовательности (см. рис. 1.10) и отделяются друг от друга дефисом. Буквенные обозначения способов сварки необходимо проставлять на чертеже только в случае применения в данном изделии нескольких видов сварки. Можно не указывать на полке мини-выноски обозначения стандарта, если все швы в изделии выполняются по одному стандарту. В этом случае следует сделать соответствующее указание в примечаниях на чертеже.

Примеры условных обозначений сварных соединений и швов приведены в табл. 1.2.

## 1.5. Конструктивные элементы сварных соединений

Торцовые поверхности деталей, подлежащие нагреву и расплавлению при сварке, называют *свариваемыми кромками*. Для обеспечения проплавления кромок им предварительно придают оптимальную форму, зависящую от толщины основного металла и способа сварки. При сварке тонкостенных деталей применяют отбортовку кромок. У толстостенных деталей осуществляют разделку кромок, подлежащих сварке, выполняя их с наклонным прямолинейным или криволинейным скосом.

На рис. 1.13 приведены примеры формы кромок стыковых соединений. Основными геометрическими параметрами кромок и соединений, подготовленных и собранных под сварку, являются



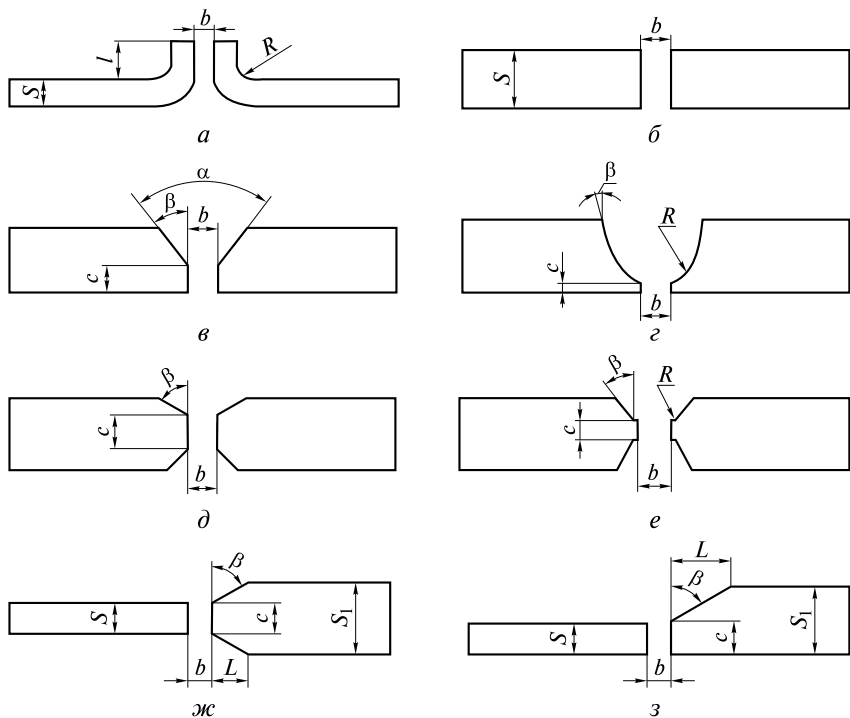


Рис. 1.13. Примеры (а—з) формы кромок, подготовленных под сварку:  $\alpha$  — угол разделки кромок;  $\beta$  — угол скоса кромки;  $b$  — зазор;  $c$  — притупление кромок;  $l$  — высота отбортовки;  $L$  — длина скоса кромок;  $R$  — радиус закруглений;  $S, S_1$  — толщина деталей

угол скоса кромки и угол разделки кромок, их притупление, зазор, высота отбортовки и радиус закругления.

*Углом скоса кромки* называют острый угол  $\beta$  между плоскостью ее скоса и плоскостью торца, а *углом разделки* — угол  $\alpha$  между скошенными кромками свариваемых деталей. Эти углы определяют стандартами для разных видов сварки.

*Притуплением кромки* называют длину  $c$  нескошенной части ее торца, подлежащей сварке. *Зазор* — это кратчайшее расстояние  $b$  между кромками собранных под сварку деталей.

От типа и угла разделки кромок зависит объем наплавленного металла, необходимого для заполнения разделки, а значит, и производительность сварки. Двусторонний скос кромок по сравнению с односторонним позволяет уменьшить объем наплавленного металла в 1,6 — 1,7 раза. Кроме того, такая разделка обеспечивает меньшую величину деформаций после сварки. Кромки притупляют для правильного формирования шва и предотвращения

образования прожогов. Зазор при сборке под сварку определяется толщиной, химическим составом и конструкцией соединяемых деталей, способом сварки и типом соединения.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие условия необходимы для получения сварного соединения?
2. По каким признакам классифицируют виды сварочных процессов?
3. Какие зоны включает в себя сварное соединение?
4. Перечислите типы сварных соединений и швов.
5. Какими геометрическими параметрами характеризуется разделка кромок?
6. Какую роль в формировании сварного шва играют различные параметры разделки кромок?