

Қостанай облысы әкімдігі білім басқармасының «Сарыкөл агробизнес және  
құқық колледжі» КМҚК  
КГКП «Сарыкольский колледж агробизнеса и права» Управления образования  
акимата Костанайской области



УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

по модулю

**ПМ1 «Выполнение электродуговой сварки»**

для студентов 2 курса

специальность 07150500 «Сварочное дело»

оқытушы/преподаватель: Усенко В.А

п. Сарыколь 2023

## Содержание:

### **Раздел:1. Проведение подготовительных работ по ручной дуговой сварке плавящимся покрытым электродом.**

1. Сущность и классификация процесса сварки .....	5-7
2. Классификация сварки металлов .....	7-10
3. Сущность сварки плавлением и давлением .....	10-14
4. Основные виды сварки плавлением .....	14-25
5. Определение сварных соединения: основные виды, их достоинства и недостатки, применение, места разрушений .....	25-28
6. Классификация сварных швов .....	29-36
7. Основные условия свариваемости разнородных металлов .....	37-40
8. Основные требования к источникам питания дуги .....	40-43
9. Основные виды сварочных постов .....	44-48
10. Устройство типового сварочного трансформатора .....	48-51
11. Устройство типового сварочного выпрямителя .....	51-55
12. Устройство типового сварочного преобразователя .....	56-59
13. Понятие о расчете сварных швов на прочность .....	60-62
14. Технические характеристики источников питания сварочной дуги...	63-67
15. Принадлежности и инструменты сварщика .....	67-71
16. Основные сведения о сварочной дуге .....	72-75
17. Виды сварочных дуг .....	76-78
18. Зажигание (возбуждение) и горение электрической дуги .....	78-81
19. Перенос электродного металла на изделие .....	81-82
<b>Раздел 2. Выполнение ручной дуговой сварки плавящимся покрытым электродом согласно технологическому процессу.</b>	
20. Подготовка металла под сварку .....	83-89
21. Технология ручной дуговой сварки .....	90-97

22. Виды сварочной проволоки .....	98-107
23. Покрытие электродов и их назначение .....	107-108
24. Виды, состав и характеристика различных типов покрытий электродов.....	109-112
25. Марки электродов, технологические свойства электродов.....	112-113
26. Плавящиеся электроды для сварки алюминия, меди, титана, чугуна и никеля .....	114-115
27. Режим сварки .....	115-121
28. Влияние показателей режима сварки на размеры и форму шва .....	121-125
29. Сварка стыковых соединений в различных пространственных положениях .....	126-131
30. Сварка тавровых, угловых и нахлесточных соединений в различных пространственных положениях .....	131-132
31. Выполнение вертикальных, горизонтальных и потолочных швов.....	133-135
32. Основы техники наплавки валиков .....	135-138
33. Положения электрода .....	139-142
34. Колебательные движения электрода .....	143-144
35. Способы заполнения шва по длине и сечению .....	144-147
36. Формирование и кристаллизация металла шва, строение зоны термического влияния .....	148-150
37. Особенности металлургии сварки .....	150-155
38. Микроструктура металла зоны термического влияния .....	156-157
39. Общие сведения о деформациях и напряжениях .....	157-160
40. Причины возникновения деформаций и напряжений .....	161-171
41. Виды и причины сварочных деформаций .....	172-176
42. Исправление деформированных сварных конструкций .....	177-179
43. Классификация видов контроля качества сварных швов и сварных изделий.....	179-188
44. Контроль сварочного оборудования .....	189-199

45. Операционный контроль технологического процесса сварки .....	200-204
46. Внешний осмотр и обмеры сварных швов и соединений .....	204- 206
47. Понятие и сущность дуговой резки .....	207-208
48. Классификация способов дуговой резки металлов .....	208-212
49. Кислородно-дуговая резка .....	212-232
50. Воздушно-дуговая резка металлов .....	233- 236
51. Сварка ванным способом .....	237-239
52. Сварка лежачим электродом .....	239-241
53. Сварка наклонным электродом .....	242- 244
54. Сварка погруженной дугой .....	245-246
55. Сварка решётчатых конструкций .....	246-249
56. Сварка балочных конструкций.....	249-252
57. Общие сведения о сварке трубопроводов.....	253-256
58. Сварка неповоротных стыков труб .....	256-259
59. Горизонтальная сварка труб .....	259-263
60. Контроль качества сварки труб .....	263-266
61. Классификация дефектов сварных швов.....	266-269
62. Причины дефектов и их возникновение .....	270-281
63. Прожог .....	282-289
64. Подрез сварного шва .....	289-295
65. Наплыв .....	295- 299.

## Введение

Данное методическое пособие предназначено для организации работы на теоретических занятиях по модулю ПМ1 «Выполнение электродуговой сварки» и способствует овладению знаниями и соответствующими профессиональными компетенциями обучающийся в ходе освоения профессионального модуля.

Методические рекомендации и учебный материал собранный в данном учебном пособии направлен на оказание помощи студентам в овладении ими знаний по:

- выполнению типовых слесарных операций, применяемых при подготовке деталей перед сваркой;
- выполнению сборки элементов конструкции (изделий, узлов, деталей) под сварку с применением сборочных приспособлений; выполнения сборки элементов конструкции (изделий, узлов, деталей) под сварку на прихватках;
- эксплуатировании оборудования для сварки; выполнения предварительного, сопутствующего (межслойного) подогрева свариваемых кромок; выполнения зачистки швов после сварки; использования измерительного инструмента для контроля геометрических размеров сварного шва;
- определении причин дефектов сварочных швов и соединений;
- предупреждении и устранения различных видов дефектов в сварных швах;
- использованию ручного и механизированного инструмента зачистки сварных швов и удаления поверхностных дефектов после сварки;

**Учебно-методическое пособие содержит такие разделы как:**

- основы теории сварочных процессов (понятия: сварочный термический цикл, сварочные деформации и напряжения); необходимость проведения подогрева при сварке;
- классификацию и общие представления о методах и способах сварки; основные типы, конструктивные элементы, размеры сварных соединений и обозначение их на чертежах;
- влияние основных параметров режима и пространственного положения при сварке на формирование сварного шва; основные типы, конструктивные элементы, разделки кромок;
- основы технологии сварочного производства; виды и назначение сборочных, технологических приспособлений и оснастки; основные правила чтения технологической документации; типы дефектов сварного шва; методы неразрушающего контроля; причины возникновения и меры предупреждения видимых дефектов; способы устранения дефектов сварных швов; правила подготовки кромок изделий под сварку;

## § 1. Сущность и классификация процесса сварки

*Сваркой* называется процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их местном или общем нагреве, или пластическом деформировании, или совместным действием того и другого.

Определение сварки относится к металлам и неметаллическим материалам (пластмассы, стекло, резина и т. д.).

Свойства материала определяются его внутренним строением - структурой атомов. Все металлы в твердом состоянии являются телами с кристаллической структурой. Аморфные тела (стекло и др.) имеют хаотическое расположение атомов. Для соединения свариваемых частей в одно целое нужно их элементарные частицы (ионы, атомы) сблизить настолько, чтобы между ними начали действовать межатомные связи, что и достигается местным или общим нагревом или пластическим деформированием или тем и другим.

В зависимости от условий, при которых осуществляется сваривание (образование межатомных связей) частиц металла, различают сварку плавлением и сварку давлением.

Сущность сварки плавлением (рис. 1) состоит в том, что металл по кромкам свариваемых деталей 1 и 2 подвергается плавлению от нагрева сильным концентрированным источником тепла: электрической дугой, газовым пламенем, химической реакцией, расплавленным шлаком, энергией электронного луча, плазмой, энергией лазерного луча. Во всех этих случаях образующийся от нагрева жидкий металл одной кромки самопроизвольно соединяется с жидким металлом другой кромки. Создается общий объем жидкого металла, который называется сварочной ванной. После застывания металла сварочной ванны получается металл шва 4. Металл шва может образоваться только за счет переплавления металла по кромкам 3 или дополнительного присадочного металла, введенного в сварочную ванну.

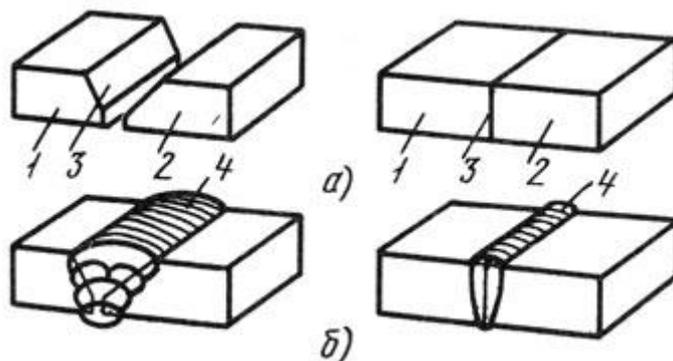


Рис. 1. Схема соединения деталей сваркой плавлением: а - детали перед сваркой, б - детали после сварки

Зона частично оплавившихся зерен металла на границе кромки свариваемой детали и шва называется *зоной плавления*, в этой зоне достигается межатомная связь. При этом металл шва тесно соприкасается с металлом свариваемых частей, а загрязнения, находившиеся на поверхностях свариваемых частей, всплывают наружу, образуя шлак.

Сущность сварки давлением (рис. 2) состоит в пластическом деформировании металла в месте соединения под действием силы  $P$ . Находящиеся на соединяемых поверхностях различные загрязнения вытесняются наружу, а поверхности свариваемых частей будут чистыми, ровными и сближенными по всему сечению на расстояние атомного сцепления. Зона, в которой установилась межатомная связь, называется *зоной соединения*. Ширина зоны соединения измеряется десятками микрон.

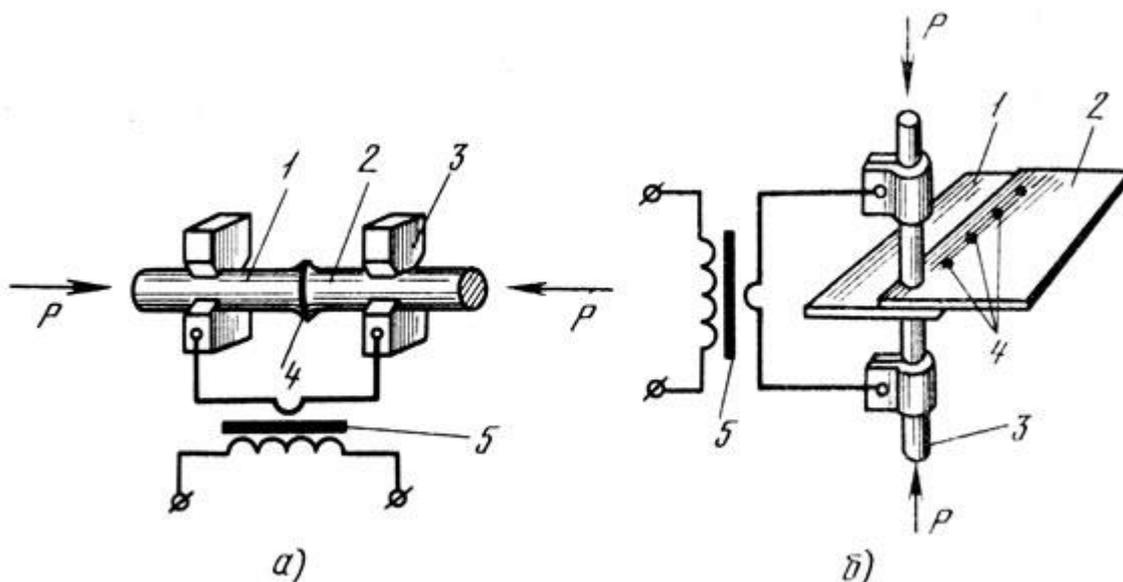


Рис. 2. Схема соединения деталей сваркой давлением: а - стыковая контактная сварка, б - точечная контактная сварка; 1 и 2 - свариваемые детали, 3 - медные электроды, 4 - место сварки, 5 - сварочный трансформатор,  $P$  - сжимающее усилие

Пластическую деформацию кромок деталей осуществить легче, если нагревать место соединения. Источником тепла (при сварке с местным нагревом) служит электрический ток, газовое пламя, химическая реакция, механическое трение; при сварке, с общим нагревом - кузнечный горн, нагревательная печь.

Процесс сварки делят на три класса (ГОСТ 19521 - 74): термический, термомеханический и механический. Термический класс объединяет виды сварки, осуществляемые плавлением металла. Термомеханический класс включает виды сварки, осуществляемые давлением с использованием тепловой энергии. К механическому классу относятся виды сварки, выполняемые давлением с дополнительной механической энергией.

Сварка по виду применяемой энергии подразделяется на следующие основные виды:

давлением с общим нагревом: кузнечная, прокаткой, выдавливанием;

давлением с местным нагревом: контактная, индукционно-прессовая, термитно-прессовая, газопрессовая, диффузионная, дуго-прессовая;

давлением без нагрева металла внешним источником тепла; ультразвуковая, холодная, трением, взрывом, магнитноимпульсная;

плавлением: дуговая, газовая, термитная, электрошлаковая, электронно-лучевая, лазерным лучом, плазменная.

## **§ 2. Классификация сварки металлов**

*Сваркой* называется процесс получения неразъемного соединения твердых материалов путем их местного сплавления или совместного пластического деформирования, в результате чего возникают прочные связи между атомами свариваемых материалов.

### **Классификация сварки металлов по физическим признакам.**

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, сварочные процессы делятся на три класса: термический, термомеханический и механический.

Вид сварки объединяет сварочные процессы по виду источника энергии, непосредственно используемого для образования сварного соединения. К термическому классу относятся такие виды сварки, которые осуществляются плавлением с использованием тепловой энергии, а именно: дуговая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, ионно-лучевая, тлеющим разрядом, световая, индукционная, газовая, термитная и литейная.

К термомеханическому классу сварки относятся такие виды сварки, которые осуществляются с использованием тепловой энергии и давления, а именно: контактная, диффузионная, индукционно-прессовая, газо-прессовая, термокомпрессионная, дугопрессовая, шлакопрессовая, термитно-прессовая и печная.

К механическому классу сварки относятся такие виды сварки, которые осуществляются с использованием механической энергии и давления, а именно: холодная, взрывом, ультразвуковая, трением и магнитно-импульсная.

**Классификация сварки металлов по техническим признакам.** К техническим признакам относятся: способ защиты металла в зоне сварки, непрерывность процесса и степень механизации сварки.

По способу защиты металла различают сварку в воздухе, вакууме, защитных газах, под флюсом, по флюсу, в пене и с комбинированной защитой. В качестве защитных могут применяться активные газы (углекислый газ, азот, водород, водяной пар, смесь активных газов), инертные газы (аргон, гелий, смеси аргона с гелием), а также смесь инертных и активных газов. Защита расплавленного металла газом может быть струйной или в контролируемой атмосфере. Если струйная защита расплавленного металла осуществляется только со стороны сварочной дуги и, то она называется односторонней, если со стороны сварочной дуги и корня шва - двусторонней.

По непрерывности процесса различают непрерывные и прерывистые виды сварки; по степени механизации - ручные, механизированные, автоматизированные и автоматические.

**Дуговая сварка.** Дуговая сварка относится к сварке плавлением. При этом виде сварки плавление основного и присадочного металла осуществляется электрической дугой, горящей между электродом и свариваемым металлом. Расплавленный основной и присадочный металл (электрод или проволока) образуют сварочную ванну, в результате кристаллизации металла сварочной ванны образуется сварной шов. Для получения полного сплавления свариваемых кромок, когда толщину свариваемых листов нельзя проплавить за один проход, кромки перед сборкой под сварку скашивают, т. е. делают разделку (скос кромок).

Схема классификации дуговой сварки приведена на рис. 2.

**Электрошлаковая сварка.** Плавление свариваемого и присадочного металлов осуществляется теплом, выделяющимся при прохождении электрического тока через расплавленный шлак в период установившегося процесса сварки.

Вначале, в первый период, возникает дуга, которая, расплавив небольшое количество флюса, шунтируется, т. е. прекращается горение дуги и начинается прохождение тока через расплавленный шлак.

Электрошлаковая сварка классифицируется по виду электрода, наличию колебаний электрода, количеству электродов с общим подводом сварочного тока.

По виду электрода электрошлаковая сварка делится на сварку проволочным, пластинчатым электродом и плавящимся мундштуком; по наличию колебаний электрод а - без колебаний и с колебаниями электрода; по количеству электродов с общим подводом сварочного тока - одноэлектродную, двухэлектродную и многоэлектродную.

**Электронно-лучевая сварка.** Этот вид сварки выполняется в камерах с разрежением до  $133(1(M - 1(H)Pa)$ . Тепло образуется за счет бомбардировки поверхности металла электронами, имеющими большие скорости, анодом является свариваемая деталь, а катодом - вольфрамовая спираль.

Электронно-лучевая сварка может выполняться без колебаний и с колебаниями электронного луча. По направлению колебаний различают электронно-лучевую сварку с продольными, поперечными, вертикальными и сложными колебаниями электронного луча.

**Плазменная сварка.** Этот вид сварки основан на пропускании электрического тока большой плотности через газовую среду, находящуюся под некоторым давлением, в результате чего газ получает ионизированное состояние, называемое плазмой. Температура плазменной струи достигает порядка 30000°C. Плазменная сварка может выполняться с поперечными, продольными и сложными колебаниями плазменной струи, а также без колебаний плазменной струи.

**Газовая сварка** основана на плавлении свариваемого и присадочного металлов высокотемпературным газокислородным пламенем. В качестве горючего для сгорания в кислороде применяют ацетилен, водород, пропан-бутановую смесь, пары керосина, бензина, городской, природный, светильный, нефтяной, коксовый и другие газы.

**Световая сварка.** по виду источника света подразделяется на солнечную, лазерную и искусственными источниками света. В практике пока в основном находит применение только лазерная сварка. Этот вид сварки основан на применении специального светового луча, который плавит металл. Для получения сильного светового луча используют особые установки, называемые лазерами.

**Термитная сварка** состоит в том, что свариваемые детали помещают в огнеупорную форму, а в установленный сверху тигель засыпают термит - порошкообразную смесь алюминия с железной окалиной. При горении термита развивается высокая температура (более 2000°C), образуется жидкий металл, который при заполнении формы оплавляет кромки свариваемых изделий, заполняет зазор, образуя сварной шов.

**Контактная сварка.** При контактной сварке место соединения разогревается и расплавляется теплом, выделяемым при прохождении электрического тока через контактируемые места свариваемых деталей; при приложении в этом месте сжимающего усилия образуется сварное соединение. По форме сварного соединения различают точечную, шовную, стыковую, рельефную, шовно-стыковую контактную сварку и по методу Игнатъева. Точечная сварка в свою очередь подразделяется на одно-, двух- и многоточечную. Стыковая сварка по характеру протекания процесса делится на сварку с прерывистым и непрерывным оплавлением и сварку сопротивлением.

**Контактная сварка** может выполняться постоянным, переменным и пульсирующим током. По виду источника энергии контактная сварка подразделяется на конденсаторную, аккумуляторную, энергией, накопленной в магнитном поле и в мотор- генераторной системе.

**Диффузионная сварка** осуществляется за счет взаимной диффузии атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

**Газопрессовая сварка** основана на нагревании концов стержней или труб по всей длине окружности многопламенными горелками до пластического состояния или плавления и последующего сдавливания стержней внешним усилием.

**Ультразвуковая сварка** основана на совместном воздействии на свариваемые детали механических колебаний ультразвуковой частоты и небольших сжимающих усилий.

**Сварка трением.** При вращении одного из стержней и соприкосновении его торца с торцом закрепленного стержня концы стержней разогреваются и с приложением осевого усилия свариваются.

**Холодная сварка** основана на способности срастания кристаллов металла при значительном давлении.

**Индукционно-прессовая сварка.** Этот вид сварки основан на разогреве токами высокой частоты концов стыкуемых стержней или труб до пластического состояния с последующим приложением осевых усилий для получения неразъемного соединения.

### **3. Сущность сварки плавлением и давлением.**

**Развитие сварки.** Дуговая сварка - один из видов сварки плавлением, при которой местное плавление свариваемых частей осуществляется электрической дугой.

Электрическая дуга и ее свойства, в частности плавление ею электродного металла впервые в мировой литературе описаны автором опытов с электрической батареей, профессором, а затем академиком Санкт-Петербургской Медико-хирургической академии Василием Владимировичем Петровым (1761 - 1834 г.) в труде "Известие о гальвани-вольтовых опытах", С.-Петербург, 1803 года.

Долгое время дуга Петрова нигде не применялась из-за отсутствия прежде всего практически пригодных источников электрического тока. Позднее, в 1849 году впервые в России (и в мире) дуга была применена на башне Адмиралтейства, осветив петербургские улицы. С этого же времени она стала использоваться и для плавильных работ.

Важные исследования по изысканию и разработке источников сварочного тока и технологии дуговой сварки разнообразных металлов принадлежат нашим

соотечественникам Н. Н. Бенардосу и Н. Г. Славянову, внесшим большой вклад в развитие мировой науки и техники по сварке.

Николай Николаевич Бенардос (1842 - 1905) автор многих изобретений в различных отраслях техники, в 1882 г. применил дугу для сварки, а в 1885 г. взял патент под названием "Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока". Н. Н. Бенардос в 1885 г. организовал в Петербурге общество "Электрогефест", которое выполняло сварочные работы в различных местах России. Сохранившиеся в архиве Н. Н. Бенардоса описания, чертежи и рисунки указывают на то, что по существу все виды дуговой сварки, применяющиеся ныне, предложены им: сварка угольным и металлическим электродами, в том числе и с применением флюса, сварка косвенно действующей дугой, горячей между двумя электродами, сварка в защитном газе. Им предложены также магнитное управление дугой и автоматы для сварки угольным и металлическим электродами.

Инженер Николай Гаврилович Славянов (1854 - 1897) в 1891 г. получил два патента под названиями "Способ и аппараты для электрической отливки металлов" и "Способ электрического уплотнения металлических отливок". Впервые в мире Н. Г. Славянов спроектировал и изготовил сварочный генератор постоянного тока. На Пермском заводе он организовал крупный по тому времени электросварочный цех, в котором с 1891 по 1894 г. лично им и под его руководством было отремонтировано сваркой 1631 изделие общей массой 250 т; при этом было израсходовано 11 т стальных электродов. Н. Г. Славянов в своей практике применял дуговые автоматы (электроплавильники) собственной конструкции, Н. Г. Славяновым опубликовано несколько научных работ по сварке.

**Условия получения дуги.** *Сварочной дугой* называется мощный устойчивый электрический разряд, происходящий в газовом промежутке между электродами, либо между электродом и изделием.

Для получения дуги нужна электрическая цепь с источником питания. Для питания дуги электрическим током пользуются при переменном токе сварочным трансформатором, при постоянном токе - сварочным преобразователем, агрегатом с двигателем внутреннего сгорания или сварочным выпрямителем. От источника питания 5 ток подводится сварочными проводами 4 через электрододержатель 3 к электроду 2 и свариваемому изделию 6 (рис. 3), между которыми горит дуга 1. Включив источник питания, сварщик зажигает дугу и поддерживает ее горение. Для зажигания дуги на клеммах источника питания должно быть напряжение в несколько десятков вольт. Сила тока, проходящая по сварочной цепи, может достигать нескольких тысяч ампер.

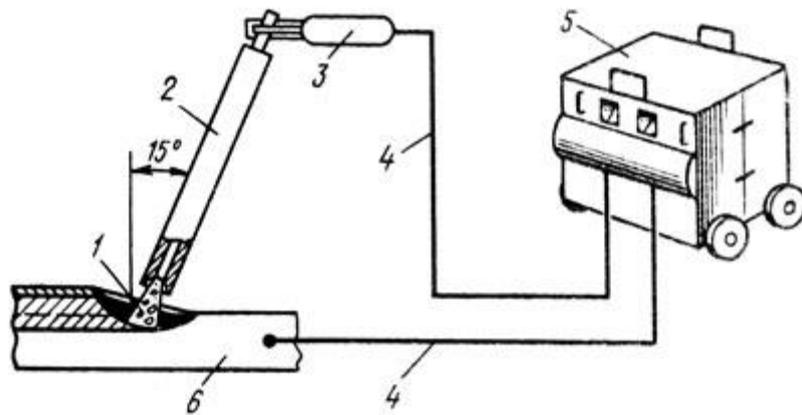


Рис. 3. Сварочная электрическая цепь с дугой

**Дуговая сварка плавящимся и неплавящимся электродами.** При сварке плавящимся электродом шов образуется за счет расплавления электрода и кромок основного металла, при сварке неплавящимся электродом шов заполняется металлом свариваемых частей.

К плавящимся электродам относят стальные, медные и алюминиевые, а к неплавящимся - угольные, графитовые и вольфрамовые.

При горении дуги плавящийся электрод по мере его плавления необходимо непрерывно подавать в дугу (в зону сварки) и поддерживать по возможности постоянную длину дуги. Длиной дуги  $L$  называют расстояние между концом электрода и поверхностью кратера (углубления) в сварочной ванне (рис. 4). При горении дуги с неплавящимся электродом длина дуги с течением времени возрастает и в процессе сварки необходима корректировка.

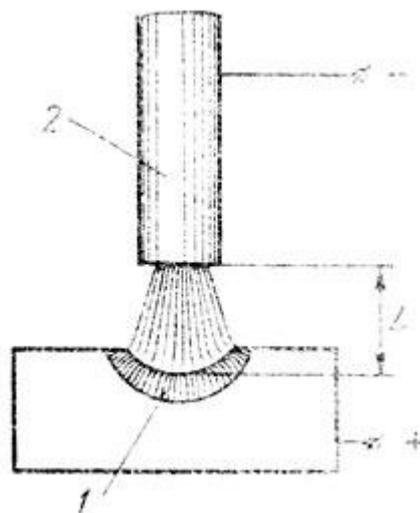


Рис. 4. Сварочная дуга: 1 - сварочная ванна, 2 - электрод;  $L$  - длина дуги

**Защита металла шва от воздуха при дуговой сварке.** При горении дуги и плавлении свариваемого и электродного металлов требуется защита сварочной ванны от действия газов воздуха (кислорода, азота, водорода), с тем чтобы они не проникали в жидкий металл и не ухудшали качество металла шва. Поэтому при

сварке защищают зону душ (нагреваемый электрод, саму дугу и сварочную ванну). По способу защиты металла от воздуха дуговая сварка разделяется на следующие виды: сварка покрытыми электродами, порошковой проволокой, в защитном газе, под флюсом, самозащитной проволокой и со смешанной защитой.

Покрытый электрод представляет собой металлический стержень с нанесенными на его поверхность порошкообразными материалами на клеящем растворе. Сварка покрытыми электродами улучшает качество металла шва. Защита металла от воздуха осуществляется за счет шлака и газов, образующихся при плавлении покрытия. Покрытые электроды предназначены для ручной сварки, т. е. такой, где две обязательные операции процесса (подача электрода в зону дуги и перемещение дуги по изделию с целью образования шва) выполняются сварщиком вручную. Ручная сварка покрытыми электродами позволяет выполнять швы в любом пространственном положении и в труднодоступных местах.

При дуговой сварке под флюсом (рис. 5) дуга 4 горит под порошкообразным флюсом 7, слой которого полностью закрывает дугу и зону сварки. Электродом служит голая металлическая проволока 1. Флюс защищает расплавленный металл от газов воздуха и улучшает качество металла шва. Дуговая сварка под флюсом выполняется автоматами и полуавтоматами. *Сварочный автомат* - это аппарат, в котором подача сварочной проволоки в дугу и перемещение дуги по изделию механизированы. В сварочном полуавтомате, перемещаемом вручную, механизирована только подача проволоки. Сварочная проволока вместе с токоподводящим проводом проходит внутри гибкого шланга, поэтому полуавтоматы называются шланговыми.

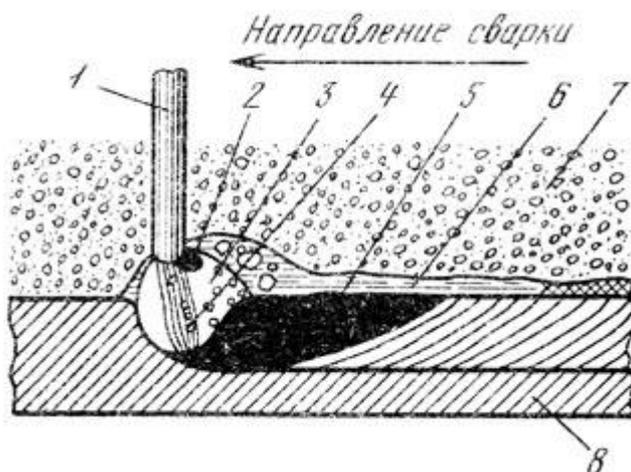


Рис. 5. Схема сварки под флюсом: 1 - электродная проволока, 2 - образующаяся капля, 3 - газовый пузырь, 4 - дуга, 5 - сварочная ванна, 6 - расплавленный флюс, 7 - нерасплавленный флюс, 8 - изделие

Для дуги, горящей под флюсом, нужны большие токи, кроме того, управление электродом вручную под флюсом сильно затруднено, поэтому полуавтоматическая сварка под флюсом часто заменяется полуавтоматической сваркой открытой дугой.

Сварка открытой дугой выполняется порошковой проволокой, в защитном газе и самозащитной проволокой.

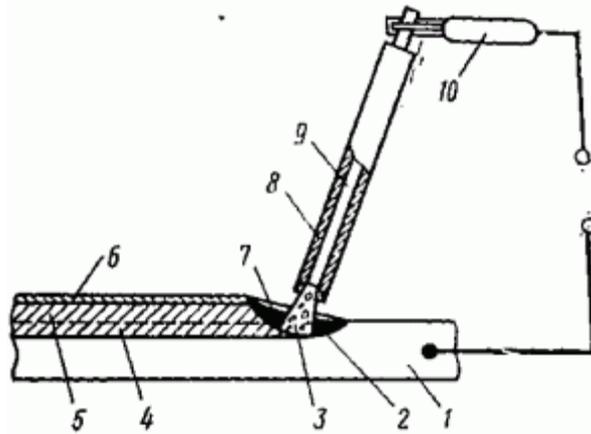
Порошковая проволока представляет собой свернутую из тонкой стальной ленты оболочку, внутри которой запрессован порошок из смеси веществ, играющих ту же роль в повышении устойчивости сварочной дуги и улучшения качества металла шва, что и электродное покрытие или флюс. Сварка порошковой проволокой осуществляется шланговыми полуавтоматами.

Сварку в защитном газе проводят с подачей в зону дуги через электрододержатель струи защитного газа. Сварка выполняется как плавящимся, так и неплавящимся электродом и может быть ручной, полуавтоматической и автоматической. В качестве защитных газов применяют углекислый газ, аргон, гелий, иногда (для сварки меди) азот и смеси газов. Инертные газы (аргон, гелий) чаще используют для сварки легированных сталей и химически активных металлов (алюминий, титан и др.) и их сплавов.

Институт электросварки им. Е. О. Патона проводит исследования по сварке самозащитной проволокой. Самозащитная проволока - это голая проволока сплошного сечения, содержащая такие легирующие элементы, которые обеспечивают высокое качество шва. Самозащитная проволока применяется при сварке арматурной стали.

#### **§ 4. Основные виды сварки плавлением**

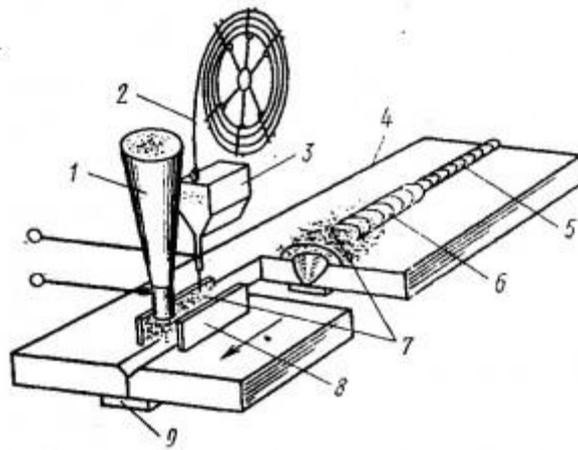
**Ручная дуговая сварка штучным электродом.** Теплота, необходимая для расплавления основного металла и электродного стержня, образуется в результате горения электрической (сварочной) дуги, обладающей высокой температурой (до 4000—6000°C). Расплавленные основной и электродный металлы перемешиваются в сварочной ванне и по мере продвижения дуги быстро затвердевают, образуя сварной шов. Электродное покрытие, нанесенное на металлический стержень электрода, состоит из различных компонентов, которые при расплавлении создают, шлаковую и газовую защиту сварочной ванны от вредного влияния кислорода и азота воздуха.



Ручная дуговая сварка штучным электродом

- 1 — основной металл,
- 2 — сварочная ванна.
- 3 — электрическая дуга,
- 4 — проплавленный металл.
- 5 — наплавленный металл,
- 6 — шлаковая корка,
- 7 — жидкий шлак,
- 8 — электродное покрытие,
- 9 — металлический стержень электрода,
- 10 — электрододержатель.

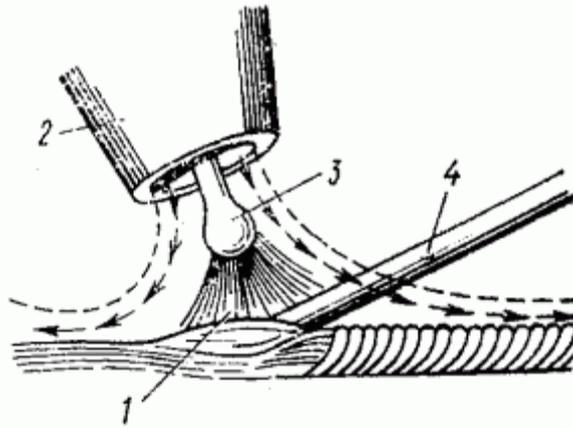
**Автоматическая дуговая сварка под флюсом.** Электрическая дуга горит под слоем зернистого флюса, который предохраняет расплавленный металл от воздуха и при необходимости легирует его. Электродная проволока подается в дугу автоматически с помощью сварочной головки, снабженной электродвигателем. Флюс сыпается в зону сварки под действием собственного веса. Одновременно с этим вся установка передвигается вдоль свариваемого шва. При этом виде сварки обеспечиваются высокая производительность и хорошее качество шва.



Автоматическая дуговая сварка под флюсом

- 1 — бункер с флюсом,
- 2 — электродная проволока.
- 3 — сварочная головка.
- 4 — основной металл.
- 5 — сварной шов.
- 6 — шлаковая корка.
- 7 — не расплавленный флюс.
- 8 — ограничители флюса.
- 9 — медная пластина-подкладка

**Дуговая сварка в защитном газе неплавящимся электродом.** Электрическая дуга горит между вольфрамовым электродом и основным металлом. Сварочная ванна защищается от окисления инертным защитным газом (аргоном, гелием), который оттесняет воздух от места сварки. Для заполнения шва в сварочную ванну вводится присадочный материал. Сварка может производиться ручным, механизированным и автоматическим способами. Этот метод широко применяют при сварке высоколегированных сталей, цветных металлов и их сплавов, а также активных и редких металлов.

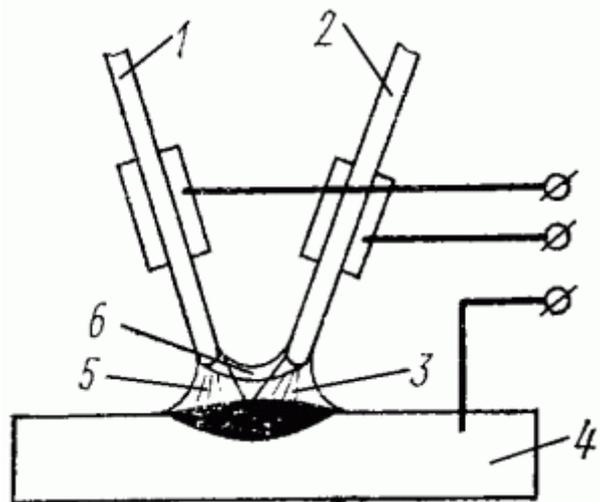


Дуговая сварка в защитном газе неплавящимся электродом

- 1 — электрическая дуга,
- 2 — газовое сопло,
- 3 — вольфрамовый электрод,
- 4 — присадочная проволока.

**Дуговая сварка в защитном газе плавящимся электродом.** Электродная проволока с помощью подающих роликов непрерывно подается в зону сварки со скоростью ее плавления. Сварочную ванну от воздуха защищают как инертным, так и активным газом (например, углекислым). Углекислый газ применяют при сварке углеродистых и легированных сталей, инертные газы — при сварке высоколегированных сталей и цветных металлов. Сварку можно выполнять механизированным и автоматическим способами.

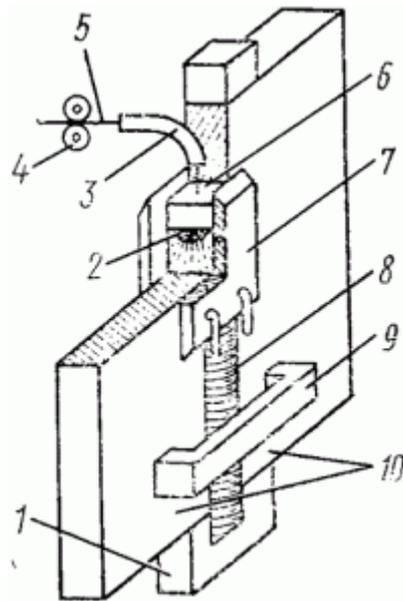
**Сварка трехфазной дугой.** К двум электродам и изделию подводят переменный ток от трехфазного сварочного трансформатора. При этом возникают три дуги, горящие в одном сварочном фокусе: по одной между каждым электродом и изделием и одна между самими электродами. При горении дуг выделяется большое количество теплоты, что увеличивает производительность процесса сварки. Сварку можно выполнять как ручным, так и автоматическим способом.



Сварка трехфазной дугой

- 1, 2 — плавящиеся электроды,  
 3, 5, 6 — сварочные дуги,  
 4 — основной металл.

**Электрошлаковая сварка** отличие от дуговой сварки для плавления основного и электродного металлов используется теплота, выделяющаяся при прохождении сварочного тока через расплавленный электропроводный шлак (флюс). После затвердевания основного и электродного металлов образуется сварной шов. Сварку выполняют при вертикальном расположении свариваемых деталей с большим зазором между ними. Для формирования шва по обе стороны зазора устанавливают медные ползуны, охлаждаемые водой. Для свободного перемещения ползунов вверх сборка под сварку производится с помощью специальных (сборочных) скоб. Электрошлаковую сварку применяют при соединении деталей большой толщины (от 30 до 1000 мм и более).



Электрошлаковая сварка

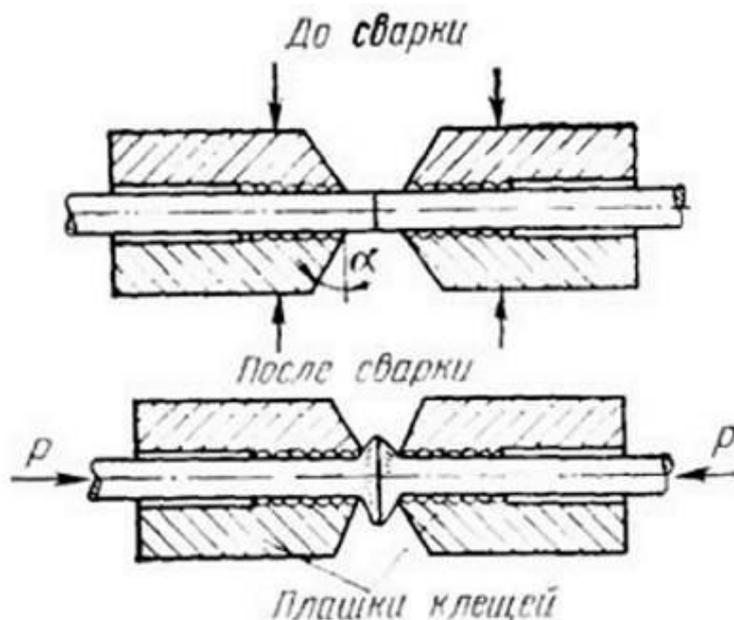
- 1 — начальная скоба для возбуждения процесса сварки,
- 2 — металлическая (сварочная) ванна,
- 3 — токоподводящий мундштук,
- 4 — подающие ролики,
- 5 — электродная проволока,
- 6 — шлаковая ванна,
- 7 — медные формующие ползуны,
- 3 — сварной шов,
- 9 — сборочная скоба,
- 10 — свариваемые детали.

### **Основные виды сварки давлением, их краткая характеристика.**

В ГОСТ 2601-24 сварка определяется как метод создания неразъемных соединений за счет образования между ними межатомных связей при нагревании или пластическом деформировании. В отличие от традиционных видов, которые основаны на нагревании до расплавления, сварка давлением выполняется под действием внешней силы, приложенной к месту соединения.

Для более доступного понимания, что такое сварка давлением необходимо введение такой важной физической величины, как энергия активации. Она ответственна за

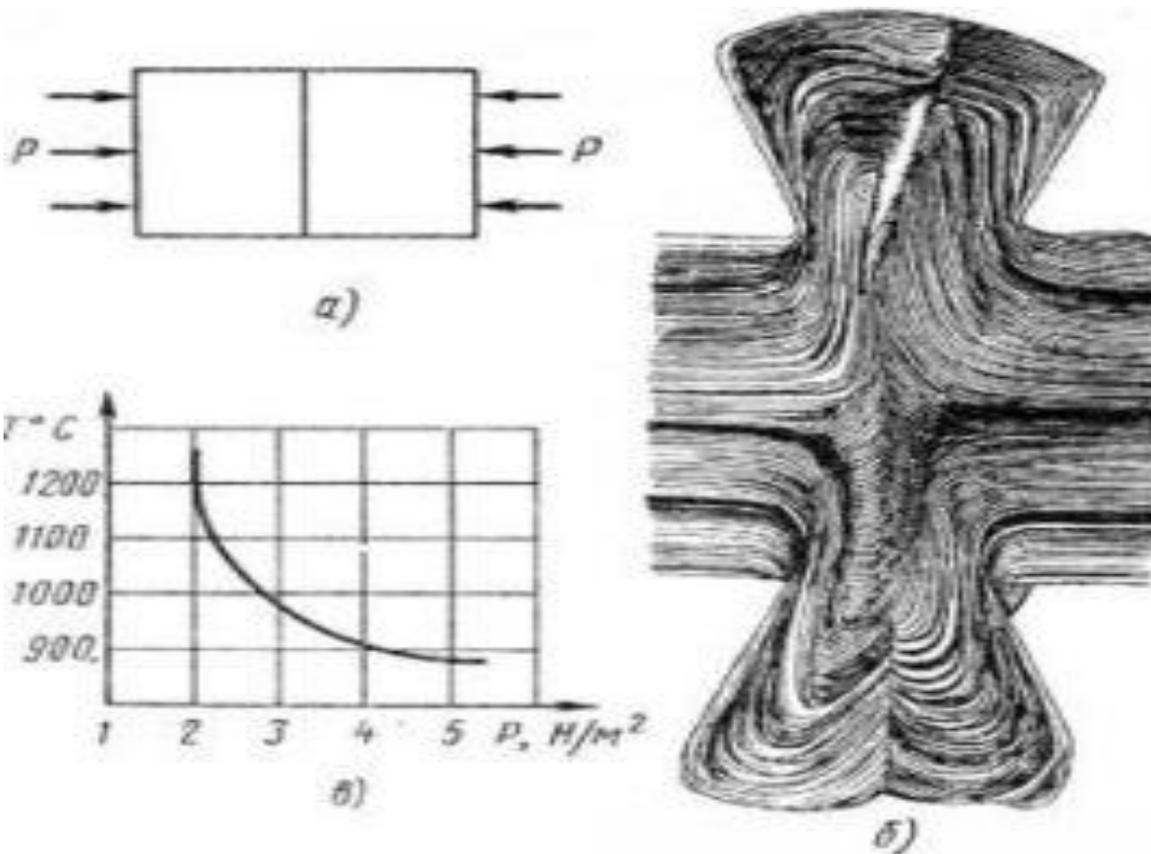
перераспределение межатомных связей и формирование их на новом уровне.



### Сущность сварки давлением

При контакте двух тел начинается взаимная диффузия атомов. В обычных условиях обмен протекает очень медленно. При сварке давлением этот процесс ускоряется за счет трения кромок деталей под действием приложенной нагрузки. Для создания более прочных межатомных связей процесс проводят с предварительным местным подогревом. Участок, где протекает диффузия, называют зоной объединения или соединения.

Нагрев производят в печах, электротокотом, индукционными установками, теплом от химических реакций, электрической дугой. Технология сварки давлением с подогревом не идентична традиционным видам. Например, при сочленении встык, кромки сначала оплавливают, затем подвергают деформации. Смесь металла со шлаком, которая выдавливается наружу после сжатия, называется гартом.



### Особенности сваривания

В отличие от классической технологии у сварки под давлением отмечают следующие преимущества:

- снижение затрат, так как нет необходимости в расходных материалах (электроды, флюсы и т. д.);
- сочленение заготовок из любых металлов, даже разнородных;
- заготовки из материала с высокой пластичностью (медь, алюминий, свинец) можно сваривать давлением без предварительного нагрева.

Для образования качественного соединения необходимо выполнение определенных условий:

1. Очистка от грязи, ржавчины, обезжиривание зоны контакта.
2. Постепенное наращивание нагрузки, чтобы сначала деформировались контактирующие слои, а потом запускался процесс диффузии. Вибрационное воздействие повышает прочность шва, так как атомы получают больше энергии.
3. Соблюдение равномерности температуры при работе с заготовками из легкоплавких материалов.

При соединении стальных элементов образуются химические элементы под названием интерметаллиды, которые делают шов прочнее. Они возникают, если в составе деталей содержится хром, кобальт, молибден или вольфрам. Никель не образует интерметаллидов, поэтому соединение заготовок из этого металла получается непрочным.

## Виды сварки давлением

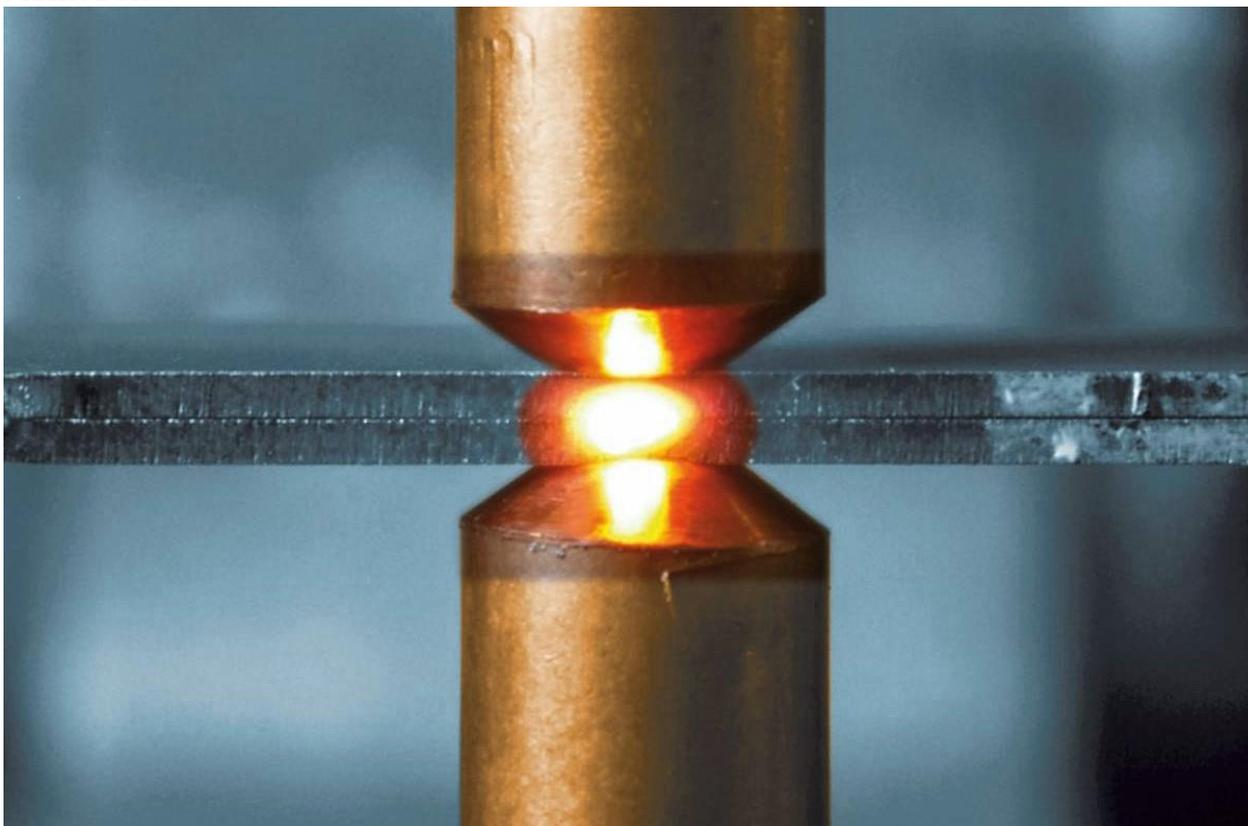
Способы сварки металлов давлением подразделяются на 2 группы:

1. Механические выполняются только за счет приложения усилия. В группу входят сварка ультразвуком, трением, взрывом, холодная.
2. Термомеханические (комбинированные) методы выполняются сочетанием механического воздействия и местного нагрева. В группу включены контактная, диффузионная, газопрессованная разновидности сварки давлением.

### Контактная

При соединении этим способом заготовки нагревают электрическим током, затем сжимают. В зависимости от способов выполнения контактная сварка бывает:

- точечной;
- рельефной;
- шовной;
- стыковой.



При точечной сварке давлением заготовки, уложенные внахлест, соединяют в одной или нескольких точках. Ток и усилие деформации передаются через цилиндрические электроды из медных сплавов диаметром 12 — 40 мм, которые расположены с одной или обеих сторон. Нагрев проводится до тех пор, пока верхние слои металла не станут пластичными, а внутренние расплавятся. Для выполнения этого условия электроды охлаждаются водой. После прекращения подачи тока, детали кратковременно удерживают под давлением для охлаждения и кристаллизации металла. Этот способ

применяют для сборки негерметичных конструкций (каркасов, сеток, узлов автомобильных корпусов, листового металла). Допустимая толщина заготовок от долей до 30 мм.

При рельефном способе механическое усилие и ток прикладываются к отштампованным выступам на поверхности. Это позволяет одновременно сваривать широкими электродами до 20 точек. Этим методом на детали из листового железа крепят болты, гайки, шпильки, создают герметичные соединения длиной до 10 см.

Шовную сварку давлением выполняют вращающимися дисковыми электродами (роликами) диаметром 40 — 350 мм с импульсной или непрерывной подачей тока. После прохождения деталей между роликами образуется сплошное соединение. Этим способом сваривают небольшие герметичные емкости со стенками толщиной до 3 мм.

При стыковой сварке детали сваривают по всей площади контакта поверхностей. Заготовки зажимают в губках электродов (подвижном и неподвижном), сближают, включают ток. После появления слоя жидкого металла ток отключают и, не снимая давления, проводят осадку. Этим способом стыкуют заготовки круглого, квадратного, шестигранного сечения, рельсы, трубы.

#### Диффузионная

Принудительный процесс обмена частицами на атомарном уровне между двумя твердыми телами называется диффузионная сварка. Для ее выполнения необходим нагрев места соединения до 0,5 — 0,7 величины температуры плавления и механическое воздействие 0,5 МПа. Длительность процесса зависит от состава деталей и может составить от 2 минут до нескольких часов.

На производстве обычно используют диффузионную сварку давлением в вакууме или среде защитного газа, которая была изобретена в середине прошлого века советским ученым Н. Ф. Казаковым. В разреженной среде можно соединять металлы с неметаллами, чего не может обеспечить холодная сварка. Материалы, устойчивые к кислороду, допускается сваривать на воздухе.

Этим способом создаются монолитные швы высокой прочности. При равных условиях, энергии тратится в 4 — 6 раз меньше, чем при контактной сварке. Процесс экологически чистый, так как нет опасных излучений и выделения вредных газов. Однако, из-за сложности дорогого оборудования и низкой производительности, повсеместного распространения не получил. Диффузионную сварку применяют на высокотехнологическом производстве:

- создают микроскопические полупроводниковые детали для электронных приборов;
- в авиационной и космической промышленности изготавливают ответственные детали;
- сваривают тугоплавкие металлы (вольфрам, тантал);

- соединяют металлы с керамикой, стеклом, сапфирами, графитом, сталь с медью и алюминием.

## **Трением**

Метод основан на нагреве соединяемых поверхностей за счет трения между ними. Одна деталь крепится неподвижно, после прижима другой заготовки включают вращение. Когда место соединения нагреется до 0,7 — 0,9 температуры плавления вращение останавливают, усилие сжатия увеличивают в 2 раза.

Сваркой трением соединяют пластмассовые и детали из разнородных металлов. Неподвижная заготовка может быть плоской. К преимуществам также относят простоту выполнения, высокую производительность. Недостатком считают то, что одна деталь должна быть телом вращения. Сварка трением деталей диаметром больше 150 мм становится нерентабельной из-за повышенного расхода энергии.

## **Ультразвуковая**

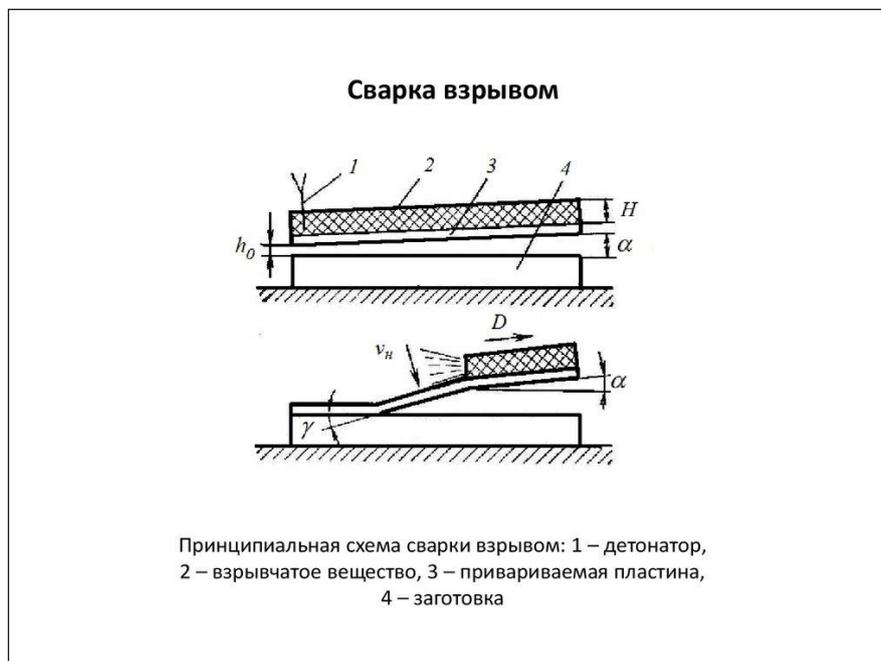
Метод основан на образовании пластической деформации под действием ультразвуковых колебаний частотой от 16 до 230 кГц при небольшом сжимающем усилии в диапазоне от 100 до 2000 кН. Для ускорения процесса допускается слабый подогрев. Ультразвуком и усилием сжатия сначала разрушается и удаляется оксидная пленка, затем формируется соединение.

Этим способом сваривают разнородные металлы, в том числе тугоплавкие, пластмассу, ткань из полимерных нитей. Ультразвуковая сварка незаменима для соединения сверхтонких, 0,005 мм, материалов. К достоинствам относят широкую сферу применения и возможность автоматизации. Основным недостатком считается невозможность сварки заготовок с толщиной больше 3 мм, так как при повышении мощности генератора разрушается волновод.

## **Взрывом**

Этот вид сварки давлением очень прост. Как правило, соединяют две пластины. Над нижней устанавливаю верхнюю под углом. Сверху размещают взрывчатку с детонатором. После подрыва пластины сжимаются, поверхности деформируются до жидкого состояния, образуется соединение.

Этим способом сваривают как однотипные металлы, так и разнородные, делают детали и заготовки из композитных материалов. Сварка взрывом применяется для нанесения (плакирования) слоя одного металла на другой толщиной 0,01 — 43 мм. Достоинствами считают высокую производительность, дешевизну, простоту проведения. Из недостатков отмечают необходимость обучения персонала, отсутствие разработок по автоматизации процесса.



*Схема сварки взрывом*

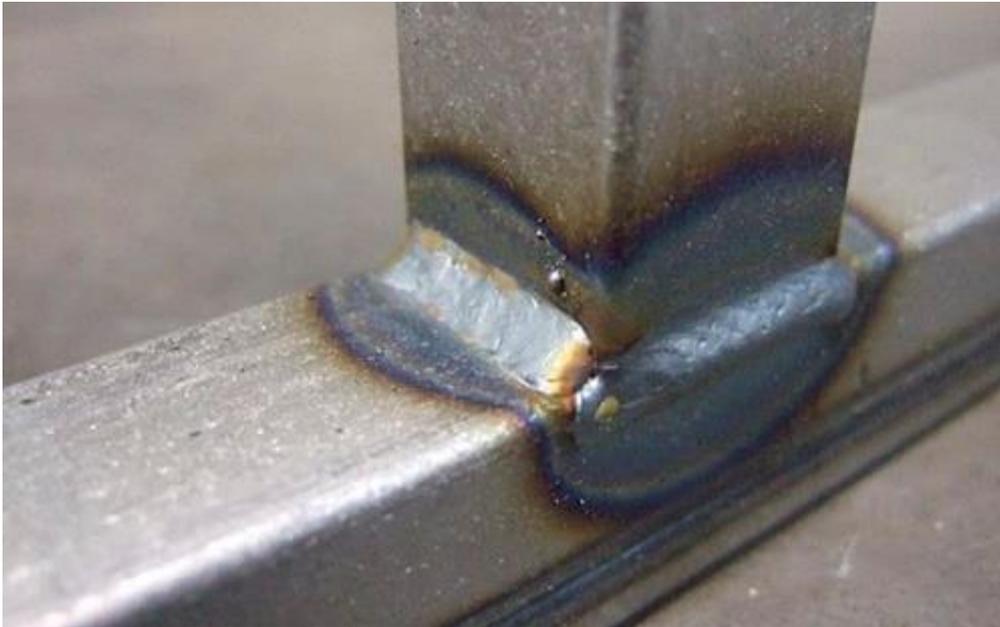
Методы сварки давлением были разработаны для создания соединений, которые невозможно выполнить классическими способами плавления. Однако за счет меньшего энергопотребления и простоты технических решений начинают вытеснять традиционные технологии во многих отраслях промышленности.

### **§ 5. Определение сварных соединения: основные виды, их достоинства и недостатки, применение, места разрушений.**

Для неразъемного соединения между собой металлических деталей сваркой используют различные типы сварных соединений.

Неразъемное соединение деталей выполненных из металлических заготовок и получаемое при помощи расплавления их краев электродуговой или газом.

Одновременно с этим происходит наплавка дополнительного металла, это может быть расплавленный электрод или специально подаваемый в зону нагрева прутки. В результате этих манипуляций в месте соединения заготовок образуется сварочный шов.



## Основные типы сварочных соединений

Все вопросы, касающиеся сварочного дела, так или иначе, стандартизированы. Один из основополагающих документов это ГОСТ 2601-92. Этот документ нормирует термины и основные понятия в области сварочного дела. В этом же документе определены и основные виды соединений при помощи сварки. К ним относят:

### **СТЫКОВЫЕ**

Торцы плотно прилегают друг к другу. Это широко применяемый вид соединения, который можно получать при использовании различных сварочных технологий. Стыковые швы обладают рядом преимуществ, в сравнении с другими – высокая скорость выполнения работ, соответственно высокая производительность, выполняемых работ. Минимальный расход материала. Высокая прочность сварного соединения, разумеется, она достигается при полном соблюдении всех технологических норм и правил. Но использование стыкового соединения требует предварительной подготовки кромок, то есть, подготовить фаску, кроме того, необходимо обеспечить точность установки заготовок.

Такой вид используют для соединения листового, трубного и сортового проката.

### **НАХЛЕСТОЧНЫЕ**

При этом способе сборки, заготовки располагают так, что их плоскости расположены параллельно друг другу и при этом частично перекрывают друг друга. Соединения этого типа чаще всего используют при выполнении точечной и контактной сварки. В других случаях при выполнении такого шва неоправданно увеличивается расход самого металла и электродов. При выполнении соединения внахлест нет необходимости в предварительной разделке кромок. Но в любом случае листы должны быть обрезаны с применением специального оборудования, например, механических ножниц. Во избежание коррозии, которая может возникнуть между листами металла, целесообразно проварить такое соединение по всей длине.

Такое скрепление заготовок целесообразно использовать если их толщина не превышает 10 мм.

## **УГЛОВОЕ**

Заготовки располагают друг относительно друга под определенным углом, а шов пролегает в месте их контакта.

Угловые соединения могут иметь одно- или двустороннее исполнение. Их используют при слиянии деталей из листового проката, фасонных изделий и труб. Угол может быть различным, все зависит от назначения конструкции. Небольшое осложнение вызывает то, что необходимо разделить кромки примыкающей заготовки.

## **ТАВРОВОЕ**

Торец одной заготовки примыкает к плоскости другой, чаще всего под прямым углом.

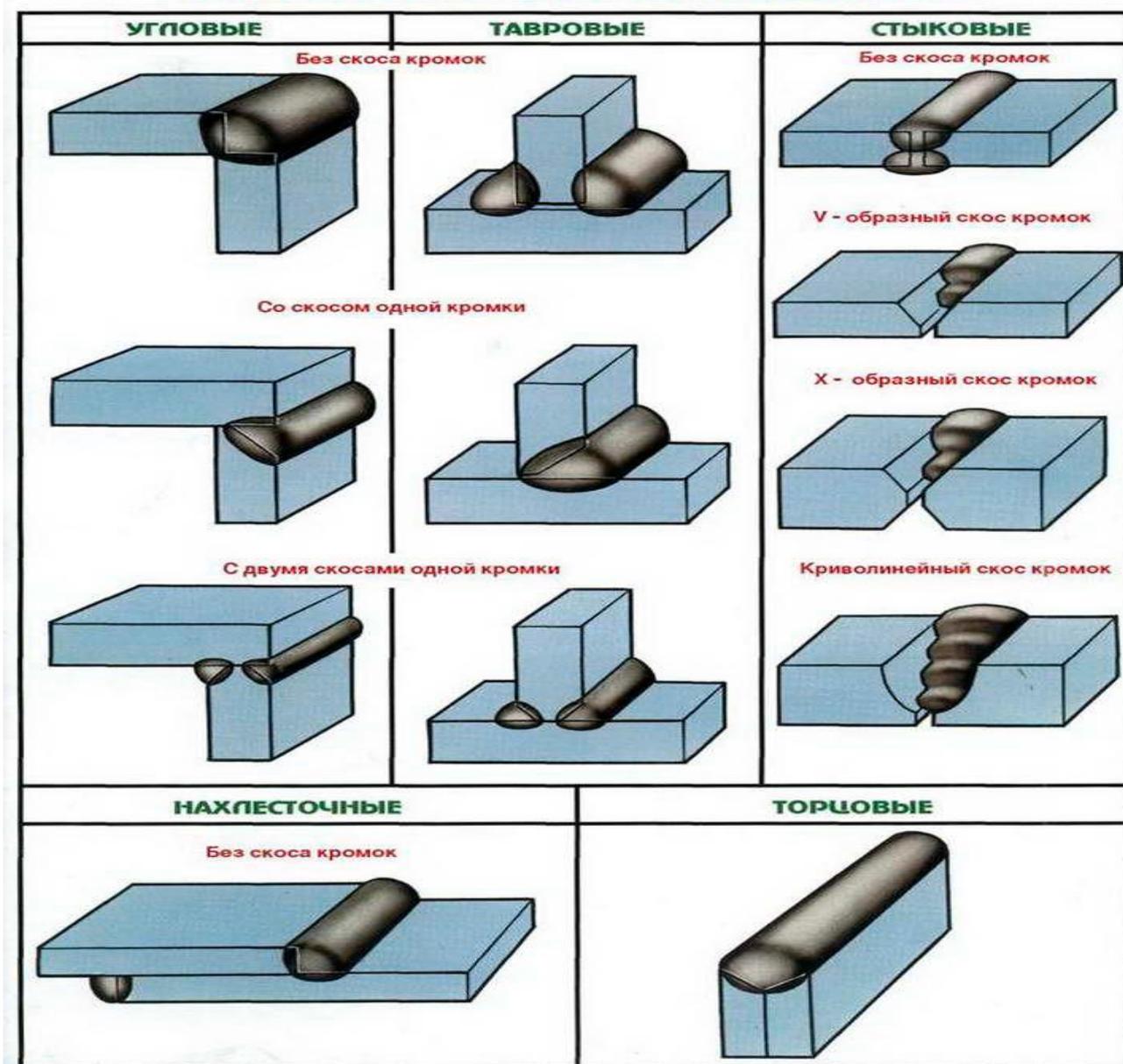
Деталь, устанавливаемая вертикально должна в обязательном порядке иметь обрезанную кромку. Таким образом, обеспечивается примыкание одной детали к другой. Кстати, при подготовке ее к сварке, в зависимости от толщины, может потребоваться предварительная разделка кромки. Если металл довольно толстый, к примеру, свыше 20 мм, то фаску необходимо снимать с двух сторон заготовки. Такой подход обеспечит провар соединения.

**ТОРЦОВОЕ** -Такая форма слияния поверхностей, при котором края свариваемых заготовок прилегают друг к другу и получаемая деталь напоминает бутерброд в разрезе.

Соединения, выполненные при помощи сварки, получили распространение в промышленности, строительстве. Сварка широко используется для замены кованных

изделий и деталей, которые изготавливают с помощью литья.

## ОСНОВНЫЕ ТИПЫ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ



### Технологические особенности сварочных работ

Любая работа имеет свои секреты, которыми по большей части владеют профессионалы и сварка тут не исключение. Например, при выполнении таврового соединения, состоящего из листов разной толщины, следует держатель электрода установить таким образом, чтобы угол между ним и толстым листом составлял 60 градусов.

Другая особенность выполнения таврового типа заключается в установке листов в «лодочку», то есть угол между заготовкой и горизонтальной плоскостью должен составлять 45 градусов. При такой форме установки заготовок электрод может быть установлен строго вертикально. В результате вырастает скорость сварки и снижается вероятность появления таких дефектов, как подрез, кстати, это чаще всего встречающийся дефект таврового шва. В зависимости от толщины металла может

возникнуть необходимость выполнения нескольких проходов электродом. Сварку в «лодочку» применяют при использовании автоматической сварки.

### 6. Классификация сварных швов.

Сварные швы классифицируют по ряду признаков. По внешнему виду швы делят на выпуклые, нормальные, вогнутые (рисунок 8). Как правило, все швы выполняют с небольшим усилением (выпуклыми). Если требуются швы без усиления, это должно быть указано на чертеже. Ослабленными (вогнутыми) выполняют угловые швы, что также отмечается на чертеже. Такие швы требуются для улучшения работы сварных соединений, например при переменных нагрузках. Стыковые швы ослабленными не делают, вогнутость в этом случае является браком. Увеличение размеров сварных швов по сравнению с заданными приводит к увеличению массы свариваемой конструкции и перерасходу электродов. В результате возрастает себестоимость сварных конструкций, повышается трудоемкость сварочных работ.

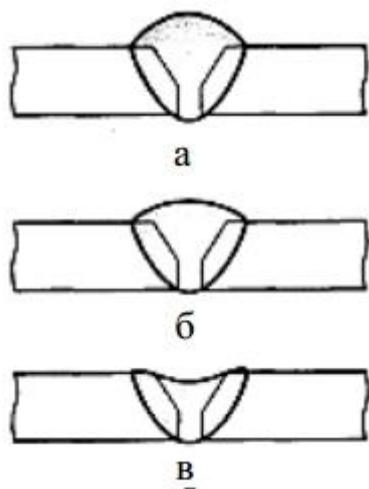


Рисунок 8 - *Классификация швов по внешнему виду: а - выпуклые; б - нормальные; в - вогнутые*

Большое значение также имеет образование плавного перехода металла лицевого и обратного валиков к основному металлу, так как это обеспечивает высокую прочность соединения при динамических нагрузках. В угловых швах также бывает трудно проварить корень шва на всю его толщину, особенно при сварке наклонным электродом. Для этих швов рекомендуется вогнутая форма поперечного сечения шва с плавным переходом к основному металлу, что снижает концентрацию напряжений в месте перехода и повышает прочность соединения при динамических нагрузках.

По числу слоев и проходов различают однослойные, многослойные, односторонние, многосторонние швы (рисунки 9, 10).

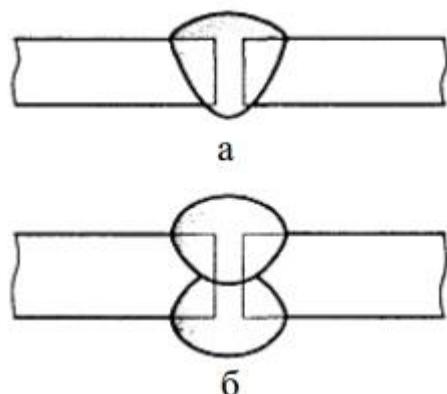


Рисунок 9 - *Классификация швов по выполнению: а - односторонние; б - двусторонние*

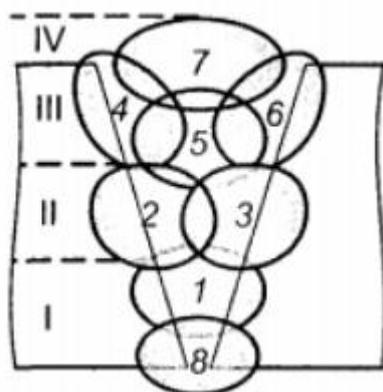


Рисунок 10 - *Классификация швов по числу слоев и проходов: I - IV - число слоев; 1 - 8 - число проходов*

Слой сварного шва - часть металла сварного шва, которая состоит из одного или нескольких валиков, располагающихся на одном уровне поперечного сечения шва. Валик - металл сварного шва, наплавленный или переплавленный за один проход.

При сварке каждый слой многослойного шва отжигается при наложении последующего слоя. В результате такого теплового воздействия на металл сварного шва улучшаются его структура и механические свойства. Толщина каждого слоя в многослойных швах примерно равна 5 - 6 мм.

По действующему усилию швы делят на продольные (фланговые), поперечные (лобовые), комбинированные, косые (рисунок 11). Лобовой шов расположен перпендикулярно к усилию  $P$ , фланговый - параллельно, а косой - под углом.

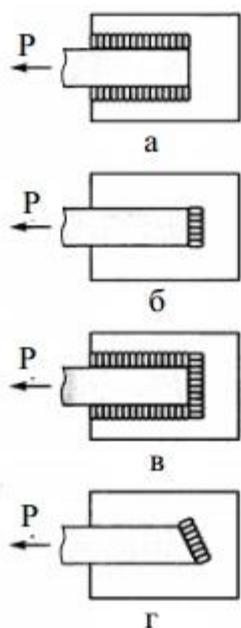


Рисунок 11- *Классификация швов по действующему усилию: а - продольные (фланговые); б - поперечные (лобовые); в - комбинированные; г - косые*

По положению в пространстве различают нижние, горизонтальные, вертикальные и потолочные швы (рисунок 12). Отличаются они друг от друга углами, под которыми располагается поверхность свариваемой детали относительно горизонтали. Наиболее труден для исполнения потолочный шов, лучше всего шов формируется в нижнем положении. Потолочные, вертикальные и горизонтальные швы приходится обычно выполнять при изготовлении и особенно при монтаже крупногабаритных конструкций.

Примеры обозначения сварных швов по их положению в пространстве даны на рисунке 13.

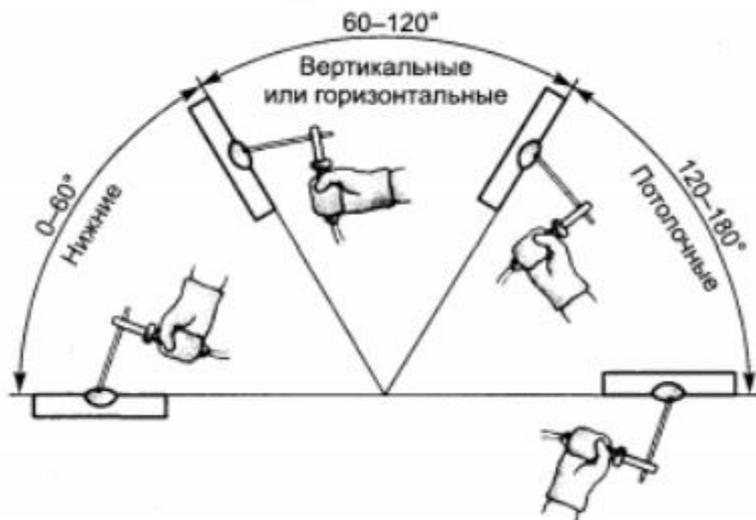


Рисунок 12 - Классификация сварных швов по их положению в пространстве

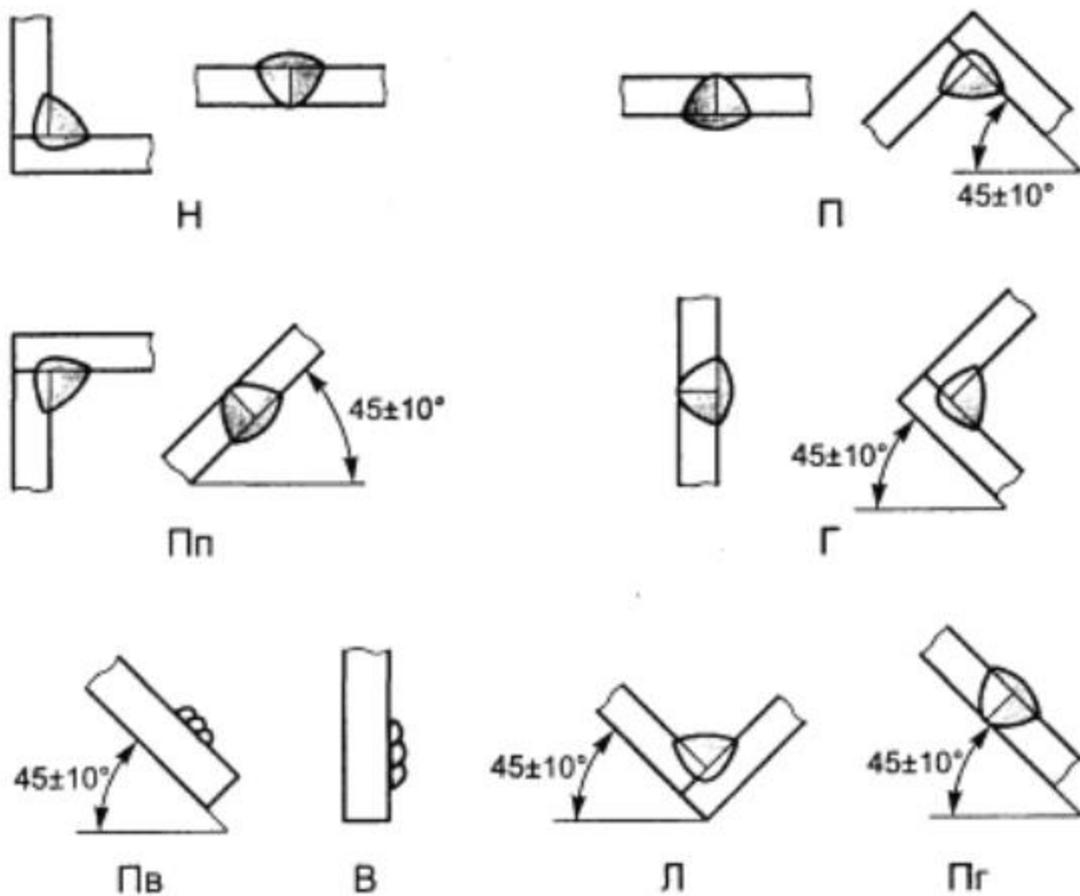


Рисунок 13 - Обозначение сварных швов по их положению в пространстве: Н - нижние; П - потолочные; Пп - полупотолочные; Г - горизонтальные; Пв - полувертикальные; В - вертикальные; Л - в лодочку; Пг - полугоризонтальные

## Сварной шов: определение

Для начала определимся с определением сварного (сварочного) шва. Так принято называть закристаллизовавшийся металл, который в момент сварки находился в расплавленном состоянии.

В структуру сварочного шва входят:

- зона наплавленного металла;
- зона механического сплавления;
- зона термического влияния;
- переходная зона к основному металлу.

## Сварные швы: классификация

Опытные сварщики говорят: в основу классификации типов швов могут быть приняты самые разные факторы, например конструктивные и прочностные, геометрические и технологические. Если рассматривать швы с точки зрения месторасположения, их можно разделить на нижние, наклонные, горизонтальные и вертикальные.

Нижний шов можно назвать не только самым простым, но и самым прочным. Дело в том, что сила тяжести металла позволяет лучше заполнить зазоры между соединяемыми поверхностями. К тому же этот тип является самым экономичным. Существуют определенные условия, так, к примеру, горелка или электрод обязательно должны быть направлены сверху вниз.



Горизонтальный шов обычно формируется тогда, когда поверхности расположены перпендикулярно плоскости электрода. Расход флюсов и электродов при этом типе существенно увеличивается. При медленном ведении шва возможны потеки, а при быстром — неповаренные места.

Значительно сложнее сделать качественный вертикальный шов. Здесь возрастают потери металла, увеличивается неравномерность (на финальном этапе сварки шов получается более толстым). Этот способ требует определенной классификации сварщика. Применяется он обычно для сварки труб или при скреплении больших конструкций.

Самой сложной сварщик считают потолочную сварку. Как ее производят? Наносят шов прерывистой дугой. Сила тока при этом небольшая. Такой тип обычно используется при сварке труб, которые нельзя перевернуть.

По способу выполнения:

- Двухсторонние – сварка с двух противоположных сторон с удалением корня первой стороны;
- Однослойные – выполнение за один «проход», с одним наплавленным валиком;
- Многослойные – число слоев равно числу «проходов». Применяется при большой толщине металла.



По степени выпуклости:

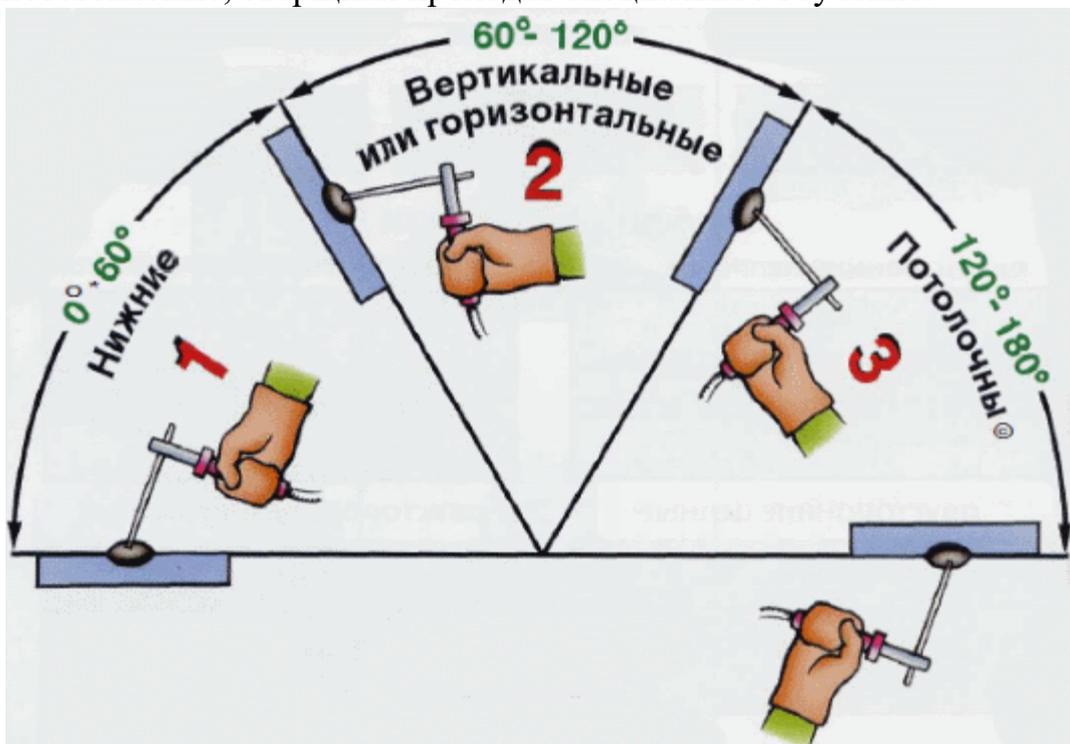
- Выпуклые – усиленные;
- Вогнутые – ослабленные;
- Нормальные – плоские.



На выпуклость шва влияют используемые сварочные материалы, режимы и скорость сварки, ширина разделки кромок.

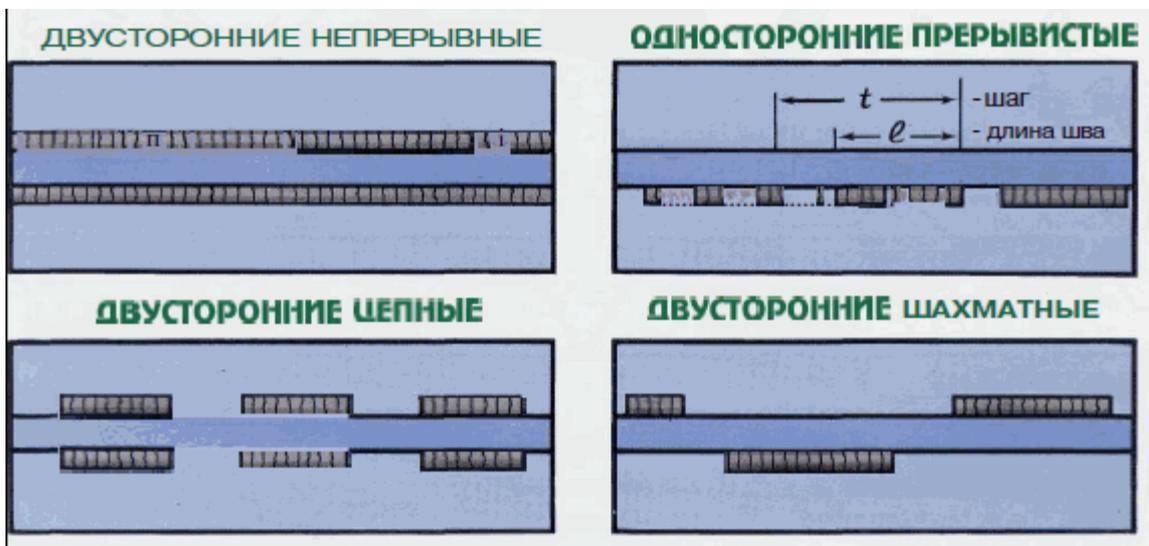
По положению в пространстве:

- Нижние – сварка ведется под углом  $0^\circ$  – наиболее оптимальный вариант, высокие производительность и качество;
- Горизонтальные – сварка ведется под углом от  $0$  до  $60^\circ$  требуют повышенной квалификации сварщика;
- Вертикальные- сварка ведется под углом от  $60$  до  $120^\circ$  квалификации сварщика;
- Потолочные – сварка ведется под углом от  $120$  до  $180^\circ$  – наиболее трудоемкие, небезопасные, сварщики проходят специальное обучение.



По протяженности:

- Сплошные – самые распространенные;
- Прерывистые – негерметичность конструкции.

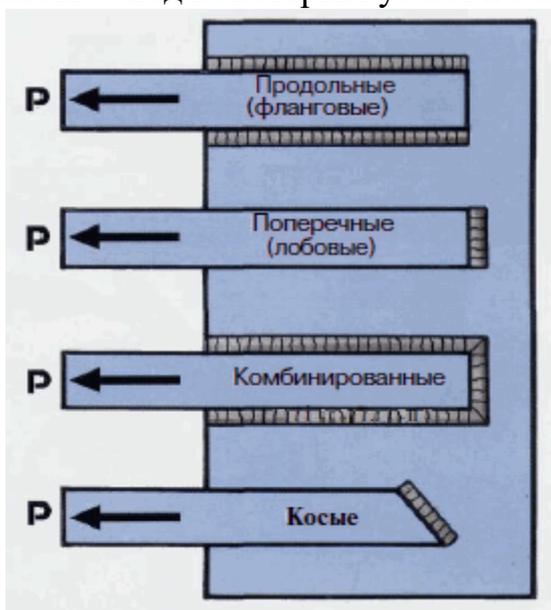


Виды сварных соединений и швов по взаимному расположению:

- Расположены по прямой линии;
- Расположены по кривой линии;
- Расположены по окружности.

По направлению действующего усилия и вектору действия внешних сил:

- фланговые – вдоль оси сварного соединения;
- лобовые – поперек оси сварного соединения;
- комбинированные – сочетание фланговых и лобовых;
- косые – под некоторым углом к оси сварного соединения.



Виды сварных швов по форме свариваемых изделий:

- на плоских поверхностях;
- на сферических.

Виды швов зависят также от толщины рабочего материала и от длины самого стыка:

- короткие – не  $> 25$  см, при этом сварка производится способом «за один проход»;
  - средние – длиной  $< 100$  см – используется обратно-ступенчатый способ сварки, при этом строчка разбивается на малые отрезки длиной в 100-300 мм;
- Все протяженные швы обрабатываются обратно-ступенчатым способом, от центра к краям.

## 7. Основные условия свариваемости разнородных металлов

Возможность соединения разнородных металлов с образованием прочных связей определяется прежде всего физико-химическими свойствами соединяемых металлов и применяемой технологией сварки. Физические свойства металлов, от которых зависит их свариваемость, могут существенно отличаться. В табл. 1 приведены некоторые физические свойства металлов, наиболее часто встречающиеся в комбинированных соединениях. Соединяемые разнородные металлы могут быть одной основы (например, перлитная сталь + аустенитная сталь) и различной основы.

Металлургические процессы сварки разнородных металлов, особенно с различной основой, более сложны и менее исследованы, чем процессы сварки однородных металлов.

Решающее влияние на свариваемость разнородных металлов оказывает металлургическая совместимость, которая определяется взаимной растворимостью соединяемых металлов и в жидком, и в твердом состоянии, а также образованием хрупких химических соединений — интерметаллидов. Практически не свариваются плавлением металлы и сплавы, которые не могут взаимно растворяться в жидком состоянии, например железо и магний, чистые свинец и медь, железо и свинец и др. При расплавлении таких пар металлов образуются несмешивающиеся слои, которые при последующем затвердевании могут быть сравнительно легко отделены друг от друга. Образуют сварные соединения металлы и сплавы, в состав которых входят элементы, обладающие неограниченной взаимной растворимостью не только в жидком, но и в твердом состоянии, т. е. образующие, непрерывный ряд твердых растворов.

Взаимная растворимость элементов определяется подобием кристаллических решеток растворителя и растворяемого компонента, разницей в атомных радиусах компонентов и величиной электроотрицательности, характеризующей энергию связи между двумя элементами. На диаграмме растворимости Л. Даркена и Г. Гурри (рис. 2) по оси абсцисс отложены атомные радиусы элементов, а по оси ординат — электроотрицательность. Для определения пределов растворимости строят вспомогательные эллипсы: внутренний — с большой осью размером  $\pm 0,2$  единицы электроотрицательности и малой осью  $\pm 0,8$  % разницы в атомных радиусах и внешний

Некоторые физические свойства металлов

Таблица 1

Металл	Плотность при плав	Температура электро-сопротивления	Удельное сопротивление	Коэффициент линейного расширения	Коэффициент теплоемкости при 0	Тип пространственной решетки	Постоянные решетки
--------	--------------------	-----------------------------------	------------------------	----------------------------------	--------------------------------	------------------------------	--------------------

	20° С, кг/м <sup>3</sup>	лениа, ление °С при 20° С, Ом* м X 10 <sup>®</sup>	расширения при 0—* 100° С, °с-1хю°	провод- ности при 20° С, Вт/(м* К)	— 500° С, Дж/(кг* К)		при 20° С, 10~10 м	
Алюминий	2 700	660	2,6	24,0	204	880	Кубическая гранцентрированная	4,040
Ванадий	6 000	1735	26	8,3	30		Кубическая объемно- центрированная	3,033
Вольфрам	19 300	3410	5,5	4,0	164	525	То же	3,158
Железо	7 800	1539	9,7	11,9	78	460	»	2,860
Кобальт	8 900	1495	6,2	12,5	69	453	Гексагональная плотнупакованная	2,502 : 4,061
Медь	8 900	1083	1,6	16,5	390	380	Кубическая гранцентрированная	г 3,608
Молибден	10 200	2625	5,1	5,1	152	268	Кубическая объемно- центрированная	; 3,140
Никель	8 900	1455	6,8	13,5	58	444	Кубическая гранцентрированная	3,516
Ниобий	8 500	2415	13,1 *	6,2	52	284	Кубическая объемно- центрированная	3,294
Олово	7 300	232	11,5	21,0	64	230	Тетрагональная объемно-центриро- ванная	5,819 3,1/5
Свинец	11 300	327	20,6	29,5	35	130	Кубическая объемно- центрированная	4,493
Серебро	10 500	960	1,6	18,9	420	210	То же	4,077
Тантал	16 600	2996	12,4 *	6,6	56	146	»	3,295
Титан	4 500	1820	80 **	4,5	13	578	Гексагональная плотнупакованная	2,953 4,729 2,659 4,935
Цинк	7 100	419	5,9	30,0	112	370	То же	
Цирконий	6 500	1750	41 **	(5,4-5,8)	17	289	Гексагональная плотнупакованная	3,223 5,123

\* Электросопротивление при 18 °С. \*\* То же при 0 °С.

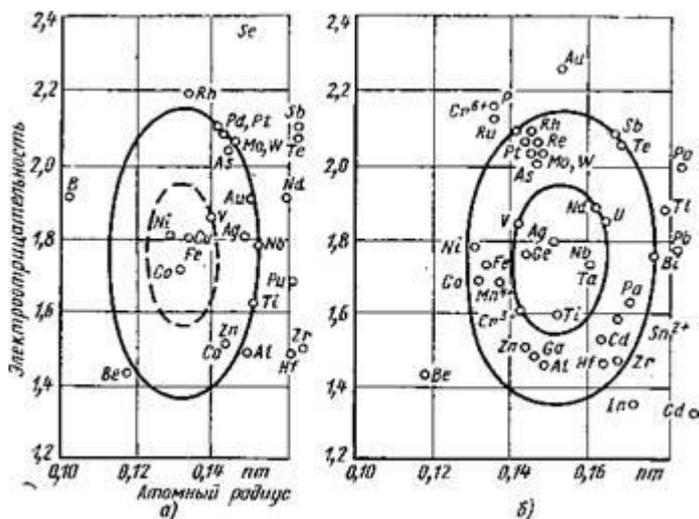


Рис. 2. Влияние атомного радиуса и электроотрицательности на растворимость различных легирующих элементов в твердом состоянии в железе (а) и в ниобии (б)

с большой осью  $\pm 0,4$  единицы электроотрицательности и малой осью  $\pm 15\%$  разницы в атомных радиусах. В пределах малого эллипса находятся металлы, образующие неограниченные твердые растворы с данным металлом-растворителем. Между малым и большим эллипсами располагают металлы с ограниченной растворимостью в металле-матрице. За пределами большого эллипса валентный и размерный факторы неблагоприятны для образования твердых растворов.

Исключение из описанной полуэмпирической теории растворимости составляют системы тугоплавких металлов: вольфрам—хром, ванадий—хром и другие, в которых может наблюдаться образование промежуточных фаз, хотя их кристаллические решетки подобны, а их электроотрицательность благоприятна для образования ряда не содержащих вакансий твердых растворов. Возможность применения этих данных описана на примере сварки ниобия с хромоникелевой сталью 12X18Н10Т [18]. Как известно, предпосылок образования твердого раствора между железом и ниобием нет. Вместе с тем возможно соединение этой стали с ниобием без образования в шве интерметаллических фаз, если с помощью электронного луча расплавляют только сталь и смачивают ею ниобий. Эта технология трудно осуществима и требует точного соблюдения определенных параметров сварки. Даже в случае незначительных отклонений механические свойства сварного соединения ухудшаются; так, при уменьшении температуры или нарушении контакта между жидким и твердым металлом могут появиться дефекты смачивания.

Можно предположить, что при сварке двух разнородных металлов в зону сплавления необходимо вводить такой барьерный элемент, который бы находился внутри малых эллипсов на графиках растворимости в твердом состоянии для обоих свариваемых металлов-растворителей.

Представленная на рис. 2 диаграмма растворимости для железа и ниобия позволяет определить подходящий, промежуточный металл для соединений хромоникелевой стали 12X18Н10Т (сплава железа) и ниобия. Находящийся на краю внутреннего эллипса ванадий обладает предпосылками для образования не содержащего вакансий твердого раствора как с железом, так и с ниобием. Из легирующих элементов в аустенитной стали, как следует из соответствующей диаграммы состояния, хром неограниченно растворим в ванадии, никель — ограниченно. Ванадий может быть

нанесен на ниобий как наплавкой, так и осаждением из паровой фазы или с помощью катодного распыления. Соединения ниобия и высоколегированной хромоникелевой стали 12X18H10T получены электронно-лучевой сваркой с использованием ванадия в качестве промежуточного металла [18, 195].

При сварке металлов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии или сплавов, содержащих ограниченно растворимые легирующие элементы и примеси, возможность образования качественного соединения зависит от степени развития внутрикристаллической ликвации в процессе первичной кристаллизации металла шва и от характера последующих фазовых и структурных превращений в нем в твердом состоянии. Некоторые фазовые и структурные превращения, протекающие в полиморфных металлах и сплавах в процессе охлаждения твердого раствора, при сварке могут приводить к образованию холодных трещин. Как правило, такие превращения сопровождаются значительными искажениями кристаллической решетки и объемными изменениями (мартенситное превращение в сталях перлитного и мартенситного классов, гидридное превращение в титане и его сплавах).

Образование горячих трещин при сварке разнородных металлов— менее характерный дефект, так как обычно предусматриваются меры предотвращения их появления [128].

При сварке металлов, сильно различающихся тепловыми свойствами (теплопроводностью, температурой плавления), возникают трудности, связанные с различиями в площади проплавления, обусловленными различными теплоемкостью, охлаждающей способностью. Кроме того, различия в магнитных свойствах приводят к изменениям глубины проплавления и стабильности горения дуги, что затрудняет получение однородной зоны сварки. Поэтому необходимо уделять внимание предварительному нагреву, способам перемещения электродов, образованию дуги. Правильный выбор способа, режимов и технологии сварки в сочетании с металлургическими средствами воздействия в большинстве случаев позволяют полностью устранить или свести к минимуму вредные последствия ограниченной растворимости.

## **8. Основные требования к источникам питания дуги**

Электрическая сварочная дуга представляет собой такой вид нагрузки, который отличается от других потребителей электроэнергии тем, что для зажигания дуги требуется напряжение значительно выше, чем для поддержания ее горения; дуга горит с перерывами, во время которых электрическая цепь либо разрывается, либо происходит короткое замыкание. Во время горения дуги напряжение ее меняется с изменением длины дуги, следовательно, меняется и сила сварочного тока. При коротком замыкании (в моменты зажигания дуги и перехода капли расплавленного металла на изделие) напряжение между электродом и изделием падает до нуля.

Эти особенности дуги обуславливают следующие требования, предъявляемые к источникам питания (для ручной дуговой сварки):

1. Напряжение холостого хода должно быть в 2 - 3 раза выше напряжения дуги. Это необходимо для легкого зажигания дуги; в то же время оно должно быть безопасным для сварщика при условии выполнения им необходимых правил. Напряжение холостого хода обычно равно 50 - 70 В. ГОСТ устанавливает максимальное напряжение холостого хода не более 80 В для источников питания переменного тока и 90 В - постоянного тока.

2. Сила тока при коротком замыкании должна быть ограничена. Нормальный процесс дуговой сварки обеспечивается, если

$$\frac{I_{к.з}}{I_{св}} = 1,1 \div 1,5,$$

где  $I_{к.з}$  - сила тока короткого замыкания;

$I_{св}$  - сила сварочного тока.

В некоторых случаях это отношение может достигать 2.

3. Изменения напряжения дуги, происходящие вследствие изменения ее длины, не должны вызывать существенного изменения силы сварочного тока, а следовательно, изменения теплового режима сварки.

4. Время восстановления напряжения от 0 до 25 В после короткого замыкания не должно превышать 0,05 с, что обеспечивает устойчивость дуги.

5. Источник питания должен иметь устройство для регулирования силы сварочного тока. Пределы регулирования тока должны быть (приблизительно) от 30 до 130% к номинальному сварочному току. Это необходимо для того, чтобы от одного источника питания производить сварку электродами разных диаметров.

Требования к источникам, предназначенным для питания других процессов сварки, отличаются от приведенных выше. Например, в источниках питания для полуавтоматической сварки в защитных газах напряжение холостого хода должно практически равняться напряжению дуги.

Выбор источника питания зависит от вида вольт-амперной характеристики сварочной дуги (см. гл. III).

Внешней вольт-амперной характеристикой источника питания называется зависимость напряжения на клеммах источника от величины сварочного тока (рис. 1).

Источники питания могут иметь следующие виды внешних характеристик: крутопадающую (1), пологопадающую (2), жесткую (3) и возрастающую (4) (рис. 1). Крутопадающая характеристика применима для ручной дуговой сварки,

пологопадающая - для автоматической и полуавтоматической сварки под флюсом, жесткая и возрастающая - для сварки в защитных газах.

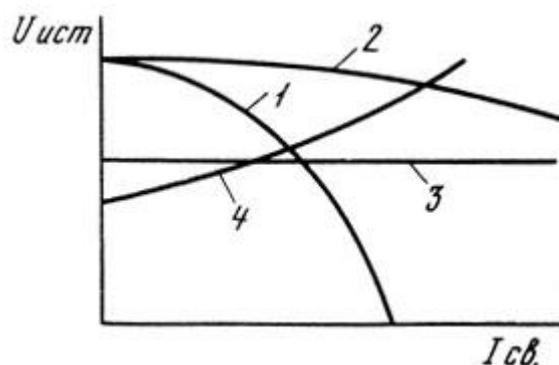


Рис. 1. Виды внешних вольт-амперных характеристик источников питания дуги: 1 - крутопадающая, 2 - пологопадающая, 3 - жесткая, 4 - возрастающая

Устойчивое горение дуги возможно при условии пересечения ее статической характеристики с внешней характеристикой источника, т. е, когда  $U_{дуги} = U_{ист}$ .

На рис.2 показана крутопадающая внешняя характеристика источника питания и пересекающаяся с ней статическая характеристика дуги длиной  $L_1$ . Точка А характеризует устойчивое горение дуги, так как  $U_{дуги} = U_{ист}$ . В случае уменьшения сварочного тока напряжение источника, как видно из графика, станет больше напряжения дуги ; при этом токе устойчивой была бы дуга длиной  $L_2$ . Ток увеличится до того значения, которое он имел в точке А. При увеличении сварочного тока напряжение источника станет меньше напряжения дуги (точка С), поэтому ток уменьшится до первоначального значения (точка А).

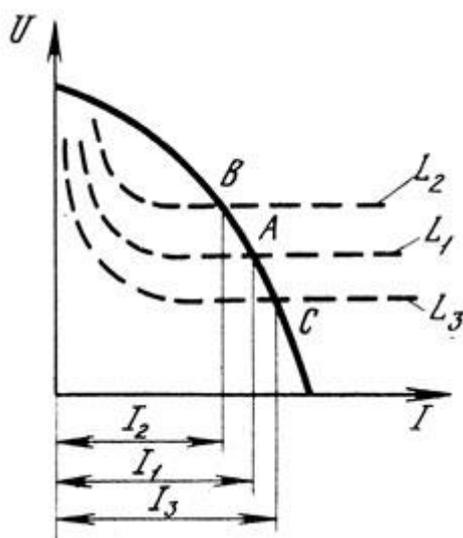


Рис. 2. Статистические характеристики дуги длиной  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$

Для устойчивого горения дуги, имеющей возрастающую статическую характеристику, требуется жесткая характеристика источника питания.

**Динамическая характеристика источника питания.** Источник питания дуги должен быстро реагировать на изменение тока и напряжения в дуге, происходящее

в процессе плавления электрода; это выражается временем восстановления напряжения от нулевого значения в момент короткого замыкания до напряжения повторного зажигания дуги. Это время и есть динамическая характеристика источника. Оно не должно превышать 0,05 с на 25 В. Динамические свойства источника питания в основном определяются взаимной индуктивностью обмоток возбуждения, качеством сердечника и обмоток трансформатора. Повышенные динамические свойства источника питания обеспечивают спокойный перенос электродного металла, уменьшение разбрызгивания металла и шлака при сварке и улучшение качества шва.

**Режим работы источника питания.** Работа источника питания обычно происходит с чередующимися включениями и выключениями нагрузки (например, во время смены электрода, очистки шва от шлака, переходах и т. д.) и характеризуется продолжительностью работы (*ПР*) или продолжительностью включения (*ПВ*). Это позволяет допускать временную перегрузку источника. Обе эти величины выражаются в процентах:

$$ПР = \frac{t_{св}}{t_{св} + t_{х.х}} \cdot 100\%; \quad ПВ = \frac{t_{св}}{t_{св} + t_{п}} \cdot 100\%,$$

где  $t_{св}$  - время сварки,  $t_{х.х}$  - время холостого хода,  $t_{п}$  - время паузы.

Практически  $ПР=ПВ$ . Для расчета *ПР* или *ПВ* берется время цикла сварки  $t_{ц}=t_{св}+t_{х.х}=t_{св}+t_{п}=5$  мин (иногда принимают  $t=10$  мин).

Как правило, для ручной сварки  $t_{св}=3$  мин,  $t_{п}=2$  мин.

В паспорте каждого источника питания указывается величина номинального сварочного тока ( $I_n$ ) и номинальное значение продолжительности работы  $ПР_n$  (или  $ПВ_n$ ). Номинальный (расчетный) ток определяется допустимым нагревом основных частей источника. Максимально допустимый сварочный ток определяется по формуле

$$I_d = I_n \sqrt{\frac{ПР_n}{ПР_d}},$$

где  $ПР_d$  - допустимое значение *ПР*.

Пользуясь этой формулой, можно всегда правильно использовать источник без перегрузки (без перегрева).

**Величина номинальных токов в источниках питания.** В соответствии с ГОСТ 10594 - 74 оборудование для дуговой сварки должно изготавливаться на номинальные токи: 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000 А.

Для ручной и полуавтоматической сварки обычно пользуются источниками с номинальным током до 500 А.

## 9. Основные виды сварочных постов

Сварочный пост – это рабочее место сварщика, оборудованное всем необходимым для выполнения сварочных работ.

Рабочее место сварщика называется сварочный пост, который может быть передвижного и стационарного типа. Рабочий пост организован, таким образом, чтобы сварщик мог без труда выполнять свою работу. Здесь находятся все необходимые инструменты для сварки: сварочный аппарат, держатель электродов, кабеля для сварки и т. д.

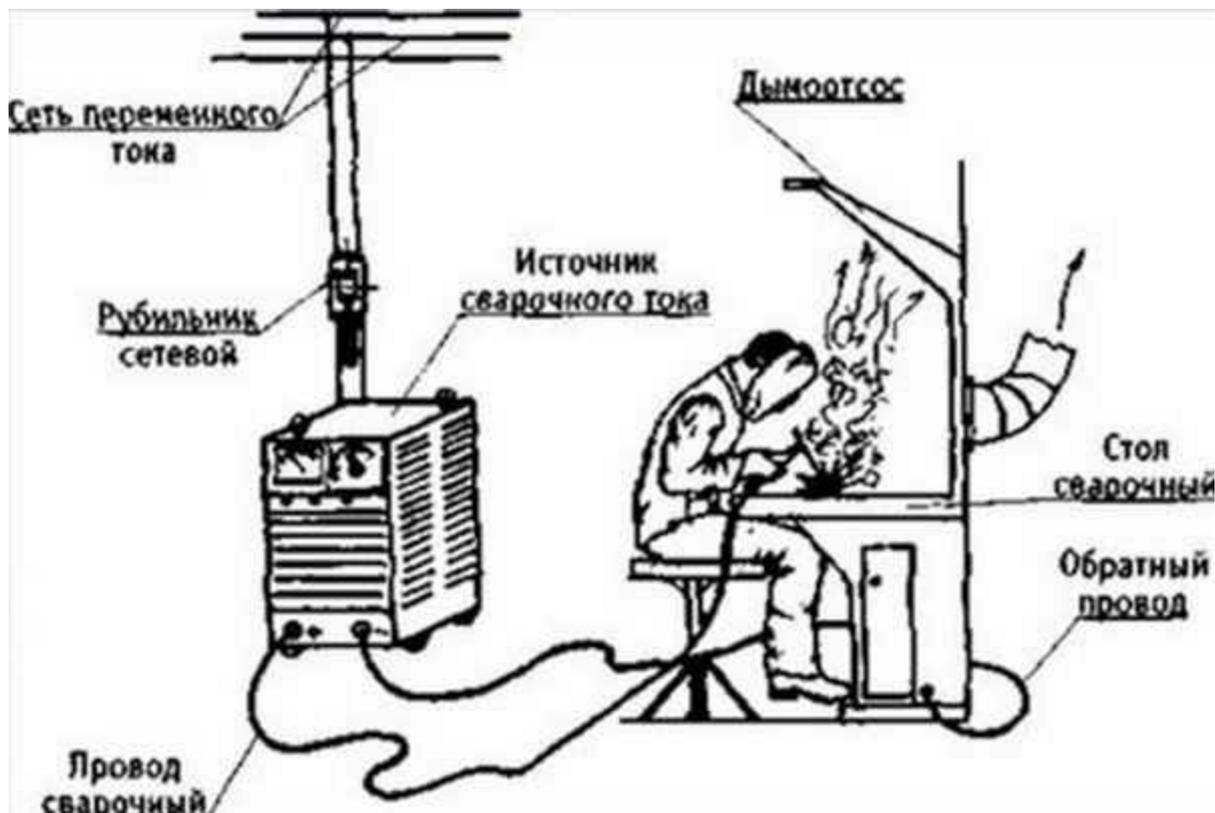
Стационарный пост сварщика — это брезентовая кабинка, размерами 2х2,5х2 м. Для её изготовления могут применяться, как брезент, так и другие, «лёгкие», но негорючие строительные материалы, например, тонкая сталь.

Передвижной пост сварщика — оборудуется прямо на рабочем месте. Как и стационарный пост, передвижной, также, имеет все необходимые инструменты, которые будут нужны для сварки в полевых условиях.

### **Что такое сварочный пост и из чего он состоит**

Сварочный пост — это специально отведённое место сварщику, где он может выполнять работы, связанные со сваркой металлических изделий. Различается несколько видов сварочных постов.

Место сварщика или сварочный пост имеет все необходимые инструменты и приспособления. Площадь стационарного сварочного поста должна быть не менее 6 кв. м. Рабочее место сварщика должно быть удобным, пожаробезопасным и иметь хорошую вытяжную вентиляцию.



Кроме того, в сварочный пост входят:

- Столешница (рабочий стол сварщика) поворотного или же неповоротного типа;
- Стул;
- Источник сварки (сварочный аппарат переменного и постоянного тока или другие источники возникновения дуги);
- Электрододержатель;
- Кабеля для сварки.



Из инструментов и оборудования, на сварочном посту обязательно должна быть маска для сварки, молоток для отбития шлака.

## Виды сварочных постов

Всего различают несколько видов сварочных постов: стационарного типа и передвижного.



**Стационарный пост для сварки** — специально оборудованное место сварщика, площадь которого не менее шести квадратных метров. Данный пост представляет собой кабинку без потолка, для изготовления которой служит тонкая сталь или фанера. В любом случае, это должны быть негорючие стройматериалы, и если для строительства поста используется фанера, то она, в любом случае, должна быть надёжно защищена против возгорания.

На сварочном посту стационарного вида находятся все необходимые инструменты и оборудование для сварки. Также, сварочный пост не может быть без рабочего стола сварщика и стула, а также хорошей вытяжной вентиляции. Сварочный стол может быть оснащён неповоротной или поворотной столешницей.

**Передвижной пост для сварки** — такой сварочный пост оборудуется прямо на месте проведения работ. В первую очередь, это сварочные работы, связанные со сваркой больших металлических конструкций. Передвижной сварочный пост, также содержит всё необходимое для сварки: источник дуги, генератор электрического тока, инструменты, необходимые для сварки.



Сварочный пост передвижного типа должен иметь защиту в виде навеса, который препятствовал бы попаданию осадков на рабочее место сварщика. Также пост должен иметь хорошие источники освещения и все необходимое оборудование для сварки. Более подробно о требованиях к сварочному посту будет рассказано ниже.

### **Требования к сварочному посту**

Стационарный сварочный пост, в отличие от передвижного поста, имеет гораздо больше требований по организации.



Так, например, стационарный пост сварщика должен иметь:

- Достаточный воздухообмен, но не менее 40 м<sup>3</sup>/час, а также хорошее освещение;
- Общую площадь не менее 3 м<sup>2</sup>, при этом высота потолка сварочного поста должна быть более 2 метров;
- Негорючие материалы изготовления и стальной каркас;
- Прочный металлический или чугунный стол для сварки, толщиной не менее 2 см;
- Наличие заземления и резинового коврика под ногами сварщика.

Передвижной пост для сварки организуют прямо на рабочем месте, там, где нужно варить крупногабаритные металлоконструкции. Такой пост сварщика хоть и отличается многим от стационарного поста, однако он также имеет все необходимое для сварки, в том числе и защитное заземление.

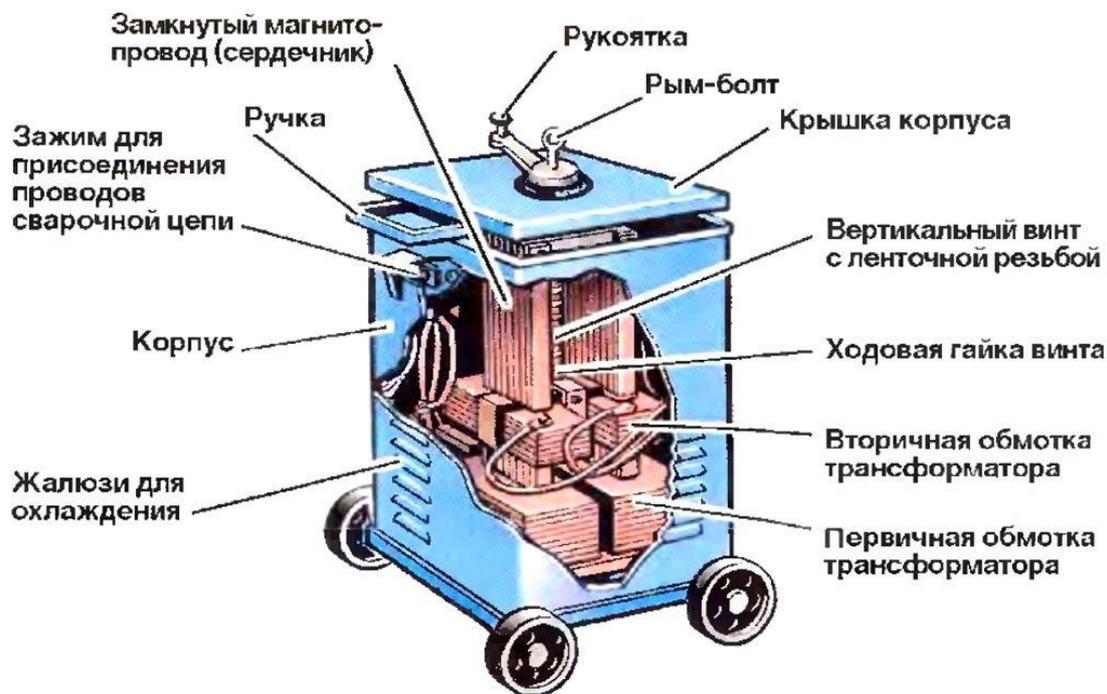
### **10. Устройство типового сварочного трансформатора**

Для монтажа металлоконструкций в промышленности и при проведении самостоятельного ремонта до сих пор применяют сварочный трансформатор. В зависимости от того для каких условий предназначен аппарат выпускаются модели бытового и промышленного назначения. Независимо от типа сварочный трансформатор сохраняет работоспособность даже при неблагоприятных погодных условиях.

#### **Как устроен сварочный трансформатор**

В классическую конструкцию включены следующие элементы:

- магнитопровод (сердечник);
- жестко закрепленная первичная катушка, намотанная изолированным проводом;
- подвижная вторичная обмотка, иногда неизолированная для лучшего охлаждения;
- вертикально расположенный винт с ленточной резьбой;
- гайка винта, скрепленная с вторичной обмоткой;
- ручка, закрепленная на верхнем конце винта;
- клеммы для подсоединения кабелей.



*Устройство сварочного трансформатора*

Элементы смонтированы внутри прямоугольного корпуса с продольными вырезами на стенках для прохода воздуха, отводящего тепло. В устройстве сварочного трансформатора сердечник не оказывает влияния на параметры тока, а предназначен для передачи магнитного потока между обмотками. Магнитопровод собирают из пакета пластин электротехнической стали, поверхность которых покрыта оксидной изоляцией или лаком. Таким способом снижают потери на вихревые токи, которые образуются при взаимодействии магнитного потока со сплошным проводником.

При прохождении по обмоткам переменного тока во время работы пластины вибрируют, издавая дребезжащий звук. Для уменьшения шума пакет стягивают как можно туже.

Для улучшения эксплуатационных характеристик и безопасности в трансформатор для сварки устанавливают дополнительные узлы:

- вентиляторы;
- конденсаторы;
- автоматические выключатели для защиты от перегрева и перегрузки;
- несколько вторичных обмоток;
- регуляторы тока на тиристорах;
- стабилизаторы напряжения.

Чтобы расширить диапазон регулирования тока, при сварке тонкостенного металла добавляют сопротивление в отдельном корпусе. Нужное значение устанавливают контакторами. Как дополнительное сопротивление можно также использовать стальную пружину, подключив ее последовательно с кабелем массы.

## Принцип работы сварочного трансформатора

При работе трансформаторного сварочного аппарата происходит понижение сетевого напряжения с одновременным возрастанием тока. Принцип действия основан на простом физическом процессе:

- после подачи напряжения ток, протекающий по виткам первичной катушки, создает переменное магнитное поле;
- по сердечнику оно передается на вторичную обмотку;
- магнитной индукцией в катушке наводится электродвижущая сила (ЭДС), которая придает электронам направленное движение, поэтому по виткам начинает протекать ток;
- из-за меньшего числа витков во вторичной обмотке, напряжение на ней меньше, чем на сетевой катушке.

Способ регулирования сварочного тока путем изменения расстояния между обмотками основан на зависимости магнитного сопротивления сердечника от величины зазора между ними. Чем меньше промежуток, тем больше ток и наоборот. В трансформаторных сварочных аппаратах с закрепленной вторичной обмоткой магнитное сопротивление изменяют регулировкой зазора на сердечнике подвижным шунтом.

## Холостой ход

Когда выполняется сварка, трансформатор работает под нагрузкой. После завершения шва переходит в режим холостого хода. Однако это не означает, что на вторичной обмотке нет напряжения. ЭДС наводится за счет ответвлений от магнитного потока.

Безопасной считается величина напряжения холостого хода сварочного трансформатора в пределах 48 — 70 В. При превышении обязательна установка автоматического ограничителя. Он снижает напряжение холостого хода до безопасной величины сразу после погасания дуги. Для защиты от поражения электрическим током при пробое изоляции первичной катушки корпус должен быть заземлен.

## Классификация сварочных трансформаторов

По назначению аппараты классифицируются как однопостовые для бытовых нужд и многопостовые. Мощность первых обычно не превышает 10 кВт, так как большую нагрузку не выдержит домашняя электропроводка. Промышленный многопостовой сварочный трансформатор мощностью 500 кВт поддерживает ток до 1000 А. Этого достаточно для одновременной работы нескольких сварщиков.

В зависимости от схемы подключения сварочного трансформатора на первичную обмотку подают одно или трехфазное напряжение. Есть модели с переключателем 220/380 В., для бытовых нужд выпускают оборудование в однофазном исполнении на 220 В., трехфазные сварочные трансформаторы промышленного назначения рассчитаны на подсоединение к сети 380 В.

Классификация по конструкции содержит следующие типы аппаратов:

1. С амплитудным регулированием при номинальном магнитном рассеивании. Выходное напряжение изменяют дросселем, который расположен на сердечнике.
2. С амплитудным регулированием, но повышенным магнитным рассеиванием. В конструкцию добавляются подвижные или разнесенные обмотки, шунты, конденсаторные или импульсные стабилизаторы.
3. С фазовым регулятором на тиристорах.

К первым двум категориям относятся разновидности с регулированием тока за счет изменения магнитного сопротивления сердечника или напряжения без изменения формы. Фазовые регуляторы преобразуют синусоиду в последовательность прямоугольных импульсов разной полярности. Также выпускаются аппараты постоянного тока, на выходе которых установлен выпрямитель. Из-за больших габаритов и цены их относят к категории промышленного оборудования. Такой сварочный трансформатор позволяет работать с заготовками из цветного металла и нержавеющей стали.

Какие параметры учитывать при выборе

Отправляясь за трансформаторным сварочным аппаратом нужно знать об условиях эксплуатации и виде выполняемых работ. Выбор осуществляют по следующим параметрам:

1. Сетевому напряжению (220 или 380 В) на рабочем месте.
2. Напряжению при холостом ходе не более 70 В. Но при низком значении будет трудней зажигать дугу.
3. Входной и выходной мощности. Чем меньше разница между ними, тем больше КПД трансформаторного сварочного аппарата.
4. Номинальному сварочному току. У моделей бытового назначения значение не превышает 200 А, полупрофессиональные рассчитаны на 300 А, а промышленные до 1000 А.
5. Диапазону регулировки. Бытовые модели способны изменять ток в пределах 50 — 200 А.
6. Длительности непрерывной работы. Бытовыми аппаратами можно сваривать без перекура 15 — 20 мин, а промышленными до нескольких часов.

Несмотря на простую конструкцию, сварочный трансформатор обеспечивает высокое качество швов. Поэтому они по-прежнему широко используются для бытовой и промышленной сварки. За счет низкой цены однофазный аппарат быстро окупится даже при проведении эпизодических работ.

## **11. Устройство типового сварочного выпрямителя.**

Назначение выпрямляющего оборудования – преобразование переменного тока питающей сети в постоянный ток определенной силы. Для сварочных работ главным

показателем является ампераж. Сварочные выпрямители, по сути, усовершенствованные трансформаторы. Они не только способны генерировать ток определенных характеристик, но и выпрямлять его. Это главное их отличие от аппаратов с переменным преобразователем. Устройства дополнительно оснащают полупроводниковыми фильтрами, конденсаторами, сглаживающими импульсный постоянный ток, делая его равномерным. Выпрямляющее оборудование лучше трансформаторов с точки зрения технологии сварки. Металл меньше разбрызгивается, стабильно поддерживается дуга.



### **Что такое сварочный выпрямитель:**

Оборудование представляет собой преобразовательный блок с вольтамперной регулировкой. У сварочного выпрямителя на выходе два провода с клеммами: плюс и минус. При подключении одной из них к электроду, а другой к металлу возникает высокотемпературная электрическая дуга, образующая ванну расплава.

Сварочные выпрямители разделяют по уровню сложности, дополнительным функциям. Но принцип устройства у всех одинаковый: помимо трансформатора, создающего необходимое напряжение, в схему включают полупроводники, пропускающие только положительную часть синусоиды переменного тока.

### **Устройство и принцип работы:**

В схему сварочного выпрямителя входят следующие элементы:

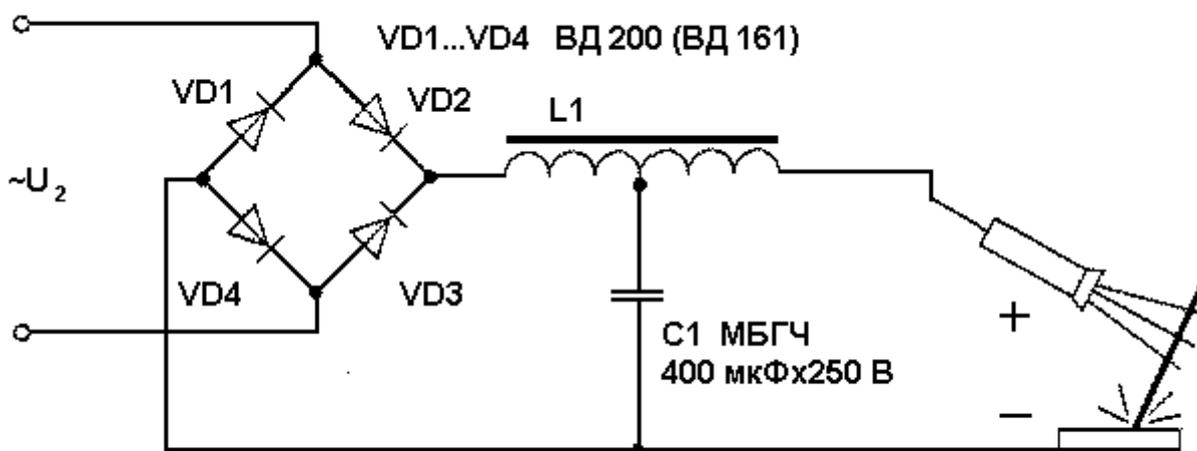
- трансформатор – регулируют напряжение (когда подаваемый от сети ток проходит через трансформатор, силовая нагрузка уменьшается до напряжения холостого хода);
- выпрямляющий блок – несколько полупроводниковых элементов преобразуют переменный ток в постоянный;

- частотные и силовые регуляторы;
- накопители заряда, сглаживающие импульсные скачки.



*Устройство сварочного выпрямителя*

Чтобы понять принцип работы устройства, вспомним механизм действия полупроводников. Они пропускают электроны только в положительном полупериоде. При включении в схему нескольких проводников, удастся получить много полупериодных кривых, при их наложении возникает постоянный ток.



*Схема сварочного выпрямителя*

## Применение сварочных выпрямителей

Аппараты применяют при сварке на низких и высоких токах, прямой и обратной полярности.

Силовые параметры регулируют по толщине металла, учитывают температуру пластичности обрабатываемого сплава.

### К устройствам подключают:

- держатели с угольными плавкими электродами или вольфрамовыми тугоплавкими;
- подающие насадки полуавтоматов и автоматов.

## Разновидности сварочных выпрямителей

Токогенерирующие сварочные преобразователи различают по конструкции и способу регулировки силовых параметров.

### Виды выпрямителей:

- регулируемые трансформатором;
- с дросселем – индукционной катушкой, сдерживающей резкие скачки напряжения;
- с регулирующими тиристорами, меняющими напряжение тока;
- с транзисторами – полупроводниками, сглаживающими скачки импульсного тока;
- инвертор – преобразователи с частотным повышением тока и регулятором его силы.

Классификация выпрямителей по возможностям регулировки вольт-амперных характеристик (несколько слов об особенностях каждого из аппаратов):

1. Трехфазные для ручной электродуговой сварки. Громоздкие модели трансформатором. Преобразователь работает с большими энергетическими потерями, возможности ограничены мощностью трансформатора металлическим или магнитным шунтом – дополнительным сопротивлением.
2. Автоматы и полуавтоматы. Силовой поток регулируется магнитным полем. Реостатная вторичная обмотка позволяет менять число витков — это принцип вольт-амперной регулировки. Для импульсной регулировки установлен осциллограф. Ток сначала выпрямляется, затем трансформируется в переменный высокой частоты.
3. Дроссельные трехфазные выпрямители для дуговой и аргоновой сварки. Они оснащены дополнительным сердечником с обмоткой, выполняющим роль накопителя заряда, подаваемого на выпрямляющий конденсатор.

### Преимущества и недостатки

Устройства отличаются большой мощностью при небольшом размере. Самые компактные – инверторы. Эти генерирующие устройства принято выделять в отдельную группу. В них трансформатор занимает не больше 1/5 объема.

Основное отличие других сварочных выпрямителей от трансформаторов – способность генерировать постоянный ток вместо переменного. С этой способностью связаны основные достоинства выпрямителей:

- когда на плавящийся электрод подается однополярный заряд, он быстрее разгорается;
- снижаются энергопотери – КПД трансформатора намного ниже;
- горение дуги стабилизируется;
- при равномерном плавлении стержня в ванне расплава возникает меньше брызг, снижается травматизм, риск случайных возгораний;
- шов удобнее контролировать, он получается ровный;
- расширяются возможности сварки;
- расход присадочных материалов уменьшается, при большом объеме работ экономия ощутима.

Наряду с достоинствами у большинства выпрямителей есть недостатки:

- потери мощности все же есть;
- при «просадке» напряжения сети они хуже работают;
- способны выйти из строя даже при коротких замыканиях в электроснабжающей сети;
- многие модели боятся влажности, запыленности.

За преобразователями, как и за другим сварочным оборудованием, нужно правильно ухаживать.

#### Обслуживание и основные неисправности

Новые преобразователи обязательно продувают перед включением в сеть. Делать это лучше бытовым феном на среднем режиме нагрева. Нужно устранить скопившуюся пыль, возможную влагу, она снижает сопротивление медных обмоток встроенного трансформатора. Раз в квартал продувку повторяют.

После длительного хранения (до года) преобразователя, перед работой полезно «прокачать» полупроводники – дать выпрямителю поработать на разных режимах, начиная с минимального. После двухчасовой «обкатки» устройство будет стабильно работать, не откажет во время сварки. Важно следить за исправностью вентилятора, оборудование не должно перегреваться.

Возможные неисправности сварочного выпрямителя и методы их устранения:

**Устройство не включается при подключении к сети.** Такое возможно:

- при переломе жилы запитывающего проводника, брякают контакты в вилке – проверяют кабель, меняют вилку;
- в сети отсутствует напряжение – необходимо проверить входной рубильник;
- один из узлов вышел из строя – пора нести преобразователь в сервис или чинить устройства самостоятельно;

- выработан ресурс полупроводниковых элементов – требуется перепайка схемы.

**Плавящийся электрод залипает, а преобразователь гудит – нужно:**

- проверить исправность полупроводников и конденсатора;
- убедиться, что нет просадки питающей электросети;
- посмотреть целостность обмотки дросселя.

**Преобразователь самопроизвольно отключается при работе – такое бывает:**

- при перегреве, проверяют исправность вентилятора или охлаждающей системы;
- прорыве обмотки встроенного трансформатора – снимают старую, делают новую.

**Устройство перестает выдавать питание нужных параметров – надо потрогать корпус, насколько он горячий, проверить подачу воздуха к вентилятору, дать генератору отдохнуть.**

**Прыгает напряжение холостого и рабочего тока – проверяют:**

- ручку регулятора;
- предохранители первичной обмотки;
- плотность закрепления контактов клеммы у пускателя.

## **12. Устройство типового сварочного преобразователя**

Разновидностью источника рабочего тока считается сварочный преобразователь, объединяющий в одном корпусе электродвигатель, генератор и выпрямитель. Такая установка используется при проведении строительно-монтажных работ, когда электросеть провисает и другие сварочные аппараты работают нестабильно. Сварка преобразователем проводится током в пределах 500 ампер, можно варить толстые заготовки, формировать сварочный шов от 10 до 30 мм глубиной. Преобразователь меняет напряжение, тип токовых характеристик.



### Принцип работы

Строение у всех видов сварочных преобразователей типовое:

- подводимый к асинхронному электродвигателю ток после включения установки преобразуется в механическую, которая подается на вал генератора;
- генератор выдает необходимую частотность токовых параметров, в работе использован метод электромагнитной индукции, на вал насажен якорь с обмотками;
- коллектор выполняет функцию выпрямителя, подает питание на выходные клеммы. Сварочный преобразователь по сути – это комбинация электродвигателя, работающего от сети 220 или 380 В и генератора постоянного тока. Надежность преобразователя снижают вращающиеся узлы, велики энергопотери в процессе преобразования электрического тока.

Оборудование ценится за стабильность токовых характеристик вне зависимости от скачков подаваемого на двигатель напряжения. Регулятором рабочих характеристик является реостат, меняя число витков независимой обмотки изменяют ампераж. Выходной ток регулируется вручную по амперметру.

Чем отличается сварочный преобразователь от генератора

Генерирующие установки схожи по принципу формирования рабочего тока для сварки. Генератор работает от жидкого топлива, двигатель устанавливают бензиновый или дизельный. Топливный принцип работы необходим для полевых условий, когда

приходится варить вдали от электромагистралей. Тепловая энергия трансформируется в электрическую без перехода в механическую.

Сварочный преобразователь оснащается только электромотором, подключаемым к однофазной или трехфазной сети. Установка сложнее генераторной, мотор и генератор тока связаны опосредованно – валом, передающим механическую энергию, получаемую из электрической.

## Устройство

Детально рассмотреть устройство оборудования можно на примере стационарного сварочного преобразователя ПСО 500, выдающего два рабочих режима с максимальными токовыми характеристиками 300 или 500 ампер. Между ротором электромотора и якорем генератора, расположенными на одном валу, размещен вентилятор с крыльчаткой, обеспечивающей направленное охлаждение контактной зоны, где большая сила трения. Подшипники размещены в корпусе преобразователя, он обязательно заземляется.



*Устройство сварочного преобразователя ПСО-500*

Катушечный якорь генератора с 4-мя независимыми обмотками соединен с коллектором, пластины выпрямителя подключены к концам якорных обмоток. При вращении катушек между полюсами магнитов, возникает электромагнитная индукция, наводится переменный ток. Для обмотки используют отожженную медную или алюминиевую проволоку – металлы с хорошей электропроводностью. Для защиты от внешних электромагнитных полей и вихревых, возникающих при работе преобразователя, предусмотрен «фильтр» – электроемкость (два конденсатора, стабилизирующие напряжение).

Блок управления у преобразователя модульный. Для запуска сварочного преобразователя вмонтирован пакетник. Рядом размещен амперметр, по которому определяют токовые параметры. Прибор подключен к реостату, регулирующему рабочие токовые показатели (измеряет ампераж в цепи независимой обмотки возбуждения).

После включения преобразователя важно проверять направление вращения обмоток генератора. При необходимости запитывающие клеммы меняют местами, чтобы ротор вращался против часовой стрелки. Для требуемой величины рабочего тока переключатель фиксируется в положении «300 А» или «500 А» (это максимальное значение генерируемого электротока).

### **Классификация**

Производители выпускают преобразователи разных модификаций. При выборе генерирующих установок учитывают вид сварки, предполагаемое место работы. Классификация источников тока для сварных работ проводится по нескольким признакам:

- *Количество сварочных постов.* Однопостовые рассчитаны на подключение к одному аппарату, для работы одного сварщика. От многопостовых могут запитаться несколько сварщиков, выполнять работы одновременно на нескольких рабочих участках.
- *Конструктивно различаются по габаритам, виду исполнения.* Бывают: передвижные сварочные установки, оснащаются колесиками или подставными тележками;

стационарными, крепятся к фундаменту или устанавливаются непосредственно у рабочего места сварщика.

- *По количеству корпусов* сварочные установки бывают одинарные или двойные.
- *По разновидности токовых показателей:*
  - с падающей вольт-амперной характеристикой (однокорпусные модели ПСО/однопостовые/ и ПСМ/многопостовые/ с асинхронными трехфазными двигателями) предназначены для ручной электродуговой сварки плавящимся или неплавящимся электродом с использованием защитных флюсов или газов;
  - с жесткой или пологопадающей ВАХ необходимы для аргоновой, полуавтоматической, автоматической сварки (модельный ряд источников тока типа ПСГ);
  - универсальные, работающие в различных режимах (установки ПСУ с регулируемыми вольт-амперными характеристиками).
- *По типу использованной технологии генерации:*

якорь с расщепленными полюсами, отдельно монтируются обмотки намагничивания и размагничивания;

раздельные обмотки размагничивания наводят ток от независимого возбуждения.

Физические электромагнитные особенности оборудования несущественно сказываются на КПД.

### 13. Понятие о расчете сварных швов на прочность.

При проектировании сварных конструкций прочность их определяется на основании расчетов, которые сводятся к определению напряжений, возникающих в элементах изделия от нагрузок.

Существует два основных метода расчета конструкций: по допускаемым напряжениям и по предельным состояниям.

При расчете конструкций по допускаемым напряжениям условие прочности имеет вид  $\sigma \leq [\sigma]$ , где  $\sigma$  - напряжение в опасном сечении элемента,  $[\sigma]$  - допускаемое напряжение, которое составляет некоторую часть от предела текучести стали:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{n},$$

где  $n$  - коэффициент запаса прочности.

Коэффициент запаса прочности имеет различные значения в зависимости от ряда условий (характера нагрузки, толщины листов, марки стали и др.). Например, для обычных строительных конструкций, выполняемых из углеродистой стали обыкновенного качества марки Ст3, допускаемое напряжение составляет  $[\sigma] = 1600$  кгс/см<sup>2</sup>; для пролетных строений железнодорожных мостов (для той же марки стали)  $[\sigma] = 1400$  кгс/см<sup>2</sup>. Так как предел текучести стали Ст3  $\sigma_T = 2400$  кгс/см<sup>2</sup>, то коэффициент запаса прочности для первого случая будет:

$$n_1 = \frac{\sigma_T}{\sigma} = \frac{2400}{1600} = 1,5$$

для второго случая:

$$n_2 = \frac{2400}{1400} = 1,7$$

Для металлов, не обладающих выраженным пределом текучести, запас прочности определяют из отношения предела прочности разрыву  $\sigma_n$  к допускаемому напряжению  $[\sigma]$ . В этом случае коэффициент запаса прочности обычно составляет.

В случае действия осевых нагрузок напряжения вычисляют по формуле

$$\sigma = \frac{P}{F},$$

где  $P$  - осевое усилие, кгс;  $F$  - площадь поперечного сечения элемента, см<sup>2</sup>.

Способ расчета по допускаемым напряжениям прост. Однако определение допускаемых напряжений  $[\sigma]$  или коэффициента запаса прочности и производится упрощенно, без точного учета большого количества условий работы конструкции.

Более точным методом расчета конструкций, учитывающим условия работы, однородность материала конструкции и др., является метод расчета по предельным состояниям. Первый метод применяется в машиностроении, второй - при проектировании всех строительных конструкций.

При расчете конструкции по предельному состоянию условие прочности записывается в виде:

$$\frac{N}{F} \leq mR,$$

где  $N$  - расчетное усилие, кгс;  $F$  - площадь сечения, см<sup>2</sup>;  $R$  - расчетное сопротивление материала, кгс/см<sup>2</sup>;  $m$  - коэффициент условий работы, который учитывает степень ответственности конструкции, возможность дополнительных деформаций при эксплуатации, жесткость узлов.

Расчетные сопротивления металла стыковых швов  $R^{cb}_c$  устанавливаются Строительными нормами и правилами (СНиП) Госстроя СССР. По этим нормам для стыковых швов, выполненных ручной и полуавтоматической сваркой на стали Ст3, расчетное сопротивление  $R^{cb}_c$  при растяжении равно (при условии применения обычных способов контроля швов - наружный осмотр и обмер швов)  $R^{cb}_c = 1800$  кгс/см<sup>2</sup>; при более сложных и точных способах контроля (рентгено- и гаммаграфия, ультразвуковая и магнитографическая дефектоскопия) -  $R^{cb}_c = 2100$  кгс/см<sup>2</sup>; при срезе -  $R^{cb}_c = 1300$  кгс/см<sup>2</sup>.

При выполнении указанными видами сварки угловых швов на стали Ст3 при всех способах контроля величина расчетного сопротивления при растяжении, сжатии и срезе принимается  $R^{cb}_y = 1500$  кгс/см<sup>2</sup>.

Стыковые швы на прочность рассчитываются по формуле

$$N = R^{cb} \delta l$$

где  $N$  - расчетная продольная сила, действующая на соединение, кгс;  $R^{cb}$  - расчетное сопротивление сварного стыкового соединения растяжению или сжатию, кгс/см<sup>2</sup>;  $\delta$  - толщина металла в расчетном сечении, см;  $l$  - длина шва, см.

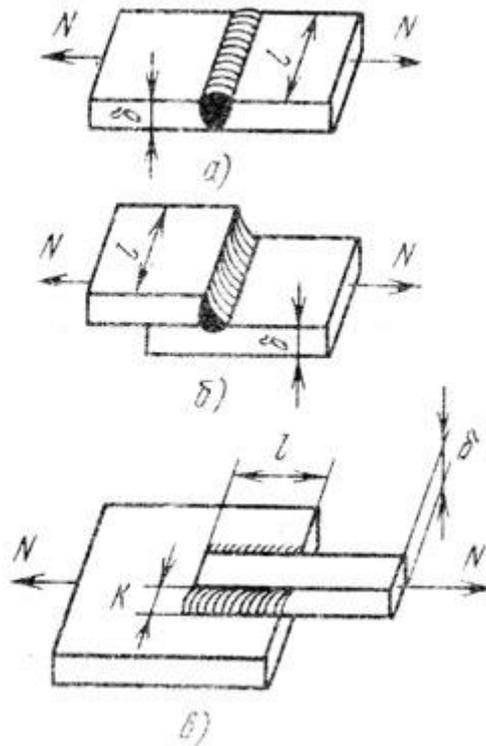


Рис. 43. Нагрузки на сварные швы: а - стыковой, б - угловой лобовой, в - угловой фланговый

Максимальное усилие  $N$  для угловых лобовых швов рассчитывают по формуле

$$N = 0,7 K l R^{cb}$$

где  $K$  - катет шва, см;  $l$  - длина шва, см;  $R^{cb}$  - расчетное сопротивление срезу, кгс/см<sup>2</sup>.

Коэффициент 0,7 показывает, что расчет ведется из предположения разрушения шва по гипотенузе прямоугольного треугольника (форма сечения углового шва).

Максимальное усилие  $N$  для угловых фланговых швов рассчитывается по формуле

$$N = 2 \cdot 0,7 K l R^{cb}$$

#### **14. Технические характеристики источников питания сварочной дуги.**

Основными техническими характеристиками источников питания сварочной дуги являются напряжение холостого хода и номинальная сила сварочного тока.

Источники для ручной сварки изготавливают на токи 125 ... 500, для механизированной - 315 ... 1000. для автоматической - 500...2000 А. Многопостовые источники имеют номинальную силу тока 1000 ... 5000 А. Важным параметром является номинальное напряжение. Например, однопостовые источники с падающей внешней характеристикой, предназначенные для ручной сварки, имеют номинальное напряжение 25 ... 40 В. В технической документации указаны пределы регулирования силы тока и соответствующие ему пределы регулирования рабочего напряжения.

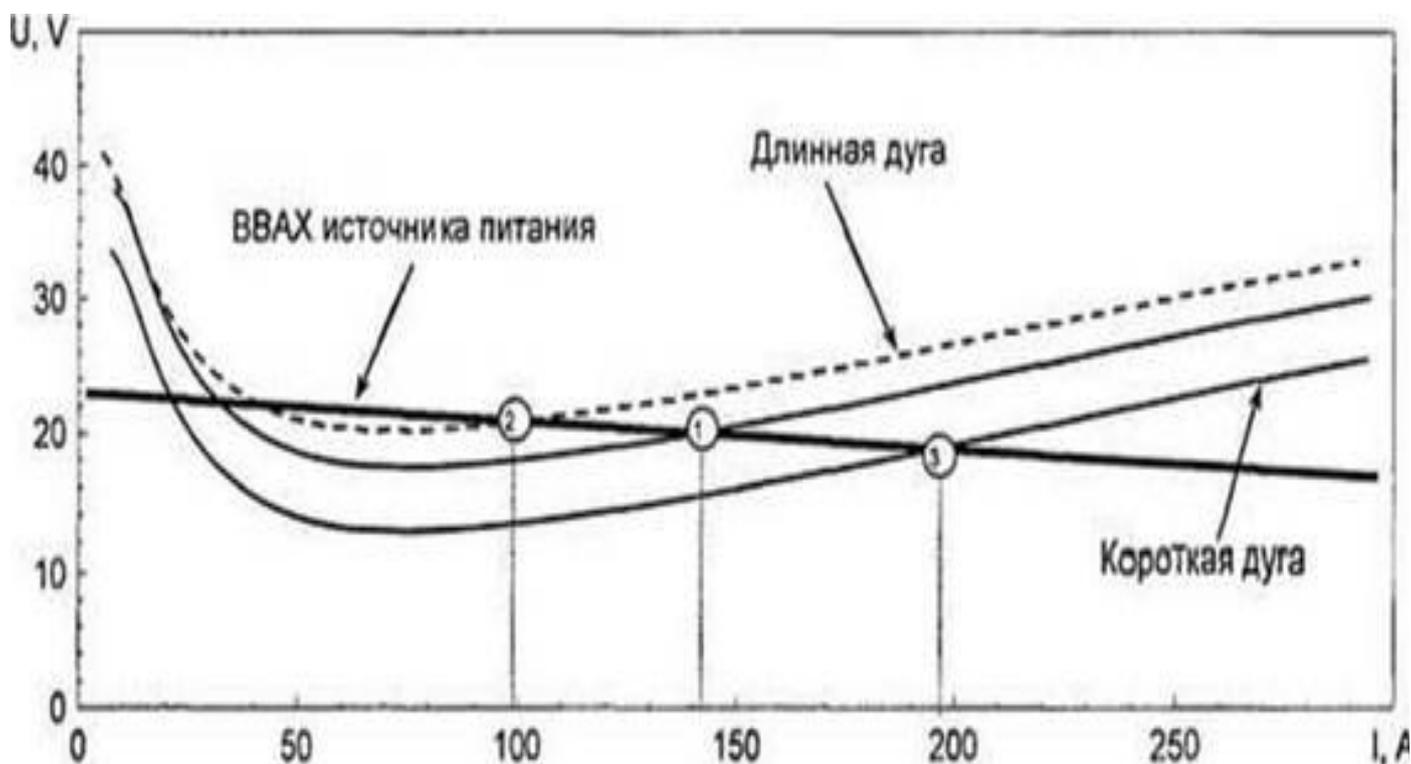
Например, выпрямитель для ручной сварки с номинальной силой тока 315 А и напряжение 22 ... 36 В. Задается также напряжение холостого хода, для источников с падающей характеристикой оно составляет 60 ... 90 В.

Источники питания работают в одном из следующих режимов: перемежающемся, повторно-кратковременном и продолжительном. В перемежающемся режиме работа под нагрузкой в течение времени  $t$ , чередуются с холостым ходом в течении времени  $t_0$ , когда источник не отключается от сети. Такой режим характеризуется относительной продолжительностью нагрузки  $ПН = i^*/(tH + t^*) \cdot 100\%$ . Источники для сварки имеют номинальную ПН. равную 60% .В повторно-кратковременном режиме работа под нагрузкой чередуется с периодическими отклонениями источника от сети на время  $t_0$ . Такой режим характеризуется относительной продолжительностью выключения  $ПВ = tM/(t,, + t_0) \cdot 100\%$ . В продолжительном режиме источник питания непрерывно работает под нагрузкой.

Кроме вышеперечисленных параметров в технической документации указываются напряжение питающей сети, номинальная мощность, коэффициент полезного действия, размеры и масса источников питания.

#### **Жёсткая внешняя Вольт-амперная характеристика источника питания**

Основная особенность жёсткой ВВАХ - небольшие изменения напряжения (длины) дуги вызывают существенные изменения тока сварки.



**Крутопадающая Внешняя Вольт-амперная Характеристика источника питания**  
 Основная особенность крутопадающей ВВАХ - большие изменения напряжения (длины) дуги не вызывают существенных изменений тока сварки.



### Технические характеристики

Марка	Сварочный ток, А		Напряжение холостого	Масса, кг	Габариты, мм	Вид статической характеристики
	номинальн	пределы				

	ый	регулирован ия	хода, В			ки
<b>ТРАНСФОРМАТОРЫ</b>						
ТД -102 У2	160	60-175	80	38	570 x 325 x 530	КП
ТД - 306 У2	250	180 - 300	80	67	630 x 370 x 585	КП
ТДМ- 317У2	315	60 - 360	80	130	555 x 585x818	КП
ТДМ - 403	400	80 - 420	65	150	620 x 520 x 770	КП
ТДМ - 505	500	40 - 530	75	180	640 x 530 x 830	КП
ТДФЖ - 1002У3	1000	300-1200	100	550	1370 x760 x 1220	ПП
ТДФЖ - 2002 У3	2000	600 - 2200	100	850	1370x760 x 1220	ПП
<b>СВАРОЧНЫЕ АГРЕГАТЫ</b>						
АДБ - 2502 У1	250	45 - 300	100	550	1680 x 870 x1080	КП
АДБ- 3122 У1	315	15-350	100	670	1900x900x 1200	КП
АДД - 3112 У1	315	30-350	100	815	1900 x900x 1200	КП
АДД - 4001 У1	400	60-450	100	855	2050 x950 x 1300	КП
<b>СВАРОЧНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ</b>						

ВД-306 УЗ	315	45-315	70	164	785 x 780 x 795	КП
ВД - 401 УЗ	400	50 - 450	80	200	772 x 770 x 785	КП
ВДГ-303 УЗ	315	50-315	40	220	723 x 593 x 938	ж
ВДГ-601 УЗ	630	100 -700	90	230	975 x 634 x 760	ж
ВДУ - 506 УЗ	500	60-500; 50- 500	80	300	820x620 x 1100	ж/кп
ТИР -315	315	20-315	65	320	1230 x620 x 1000	ш
ВСВУ- 315	315	8-350	100	360	520x700x 1135	КП
ВСВУ - 630	630	10-700	100	480	520 x 850 x 1250	КП

### ИНВЕРТОРНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ

«Адонис» -3	160	35-160	86	17	155x 330 x 520	кп/ш
«Форсаж »-250 Пр	250	70 - 250	100	12	410x 180x290	КП
ДС 200 А.3	200	5-200	60	25	500 x 220 x 430	КП
ВДУЧ-16	160	30-160	86	23	270 x 600 x 365	КП
ВДУЧ - 200	200	30 - 200	86	27	280 x 600 x 365	КП

ФЕБ - 200 Н	200	40 - 200	55	23	215x 350 x 500	КП
ФЕБ - 350 Н	350	40 - 350	60	45	300 x 440 x 690	КП
<b>МНОГОПОСТОВЫЕ ИСТОЧНИКИ</b>						
ВДМ - 6302	630	-	70	280	750 x 700 x 900	ж
ВДМ- 1201 УЗ	1250	-	80	380	1100x660x8 30	ж
ВДМ- 1601 УЗ	1600	-	100	480	1050 x 700 x 910	ж
ВМГ- 5000 УЗ	5000	-	80	2790	1500x1150 x 1685	ж
ВДМ- 4x3010	4x315	-	70	480	770x1250x8 60	ж

### **15. Принадлежности и инструменты сварщика**

Электрододержатель является основным инструментом сварщика и служит для закрепления электрода и подвода к нему тока при ручной дуговой сварке. В зависимости от способа закрепления различают вилочные, пассатижные, винтовые, пружинные, эксцентриковые и другие электрододержатели. Наибольшее распространение в практике получили пассатижные (рис. 6.3, а) и вилочные (рис. 6.3, б) электрододержатели, но последние в настоящее время промышленностью не выпускаются.

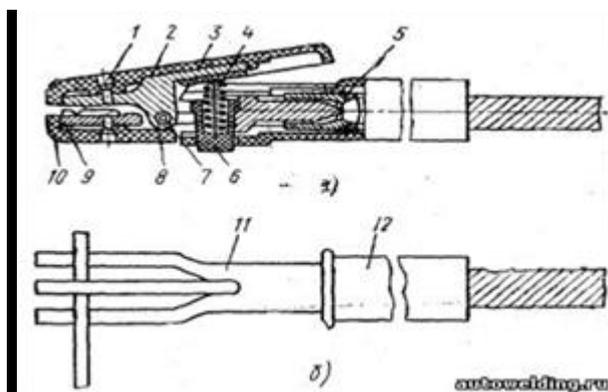


Рис. 6.3. Электрододержатели для ручной дуговой сварки

*а* -- пассатижный (ЭД-3104У1), *б* -- вилочный; 1 -- винт, 2, 10 -- верхняя и нижняя накладки, 3 -- рычаг, 4, 9 -- пружины, 5 -- гайка, 6, 8 -- втулки, 7 -- ось, 11 -- токопровод, 12 -- рукоятка

**Дополнительный инструмент сварщика.** Для зачистки кромок перед сваркой и удаления с поверхности швов остатков шлака применяют стальные щетки -- ручные и с электроприводом. Остывший шлак с поверхности шва удаляют молотком-шлакоотделителем. Для подсоединения «массы» к заготовке служат винтовые или пружинные зажимы, в которые токопроводящий провод впаивают высокотемпературным припоем или закрепляют механически.

Для клеймения швов, вырубки дефектных мест, удаления брызг и шлака применяют соответственно клейма, зубила и молотки. Сборочные операции перед сваркой выполняют с помощью шаблонов, отвесов, линеек, угольников, чертилок и специальных приспособлений. При монтажных сварочных работах сварщики пользуются надеваемыми через плечо брезентовыми сумками, в которых помещаются электроды.

Инструмент сварщика - это совокупность орудий, употребляемых им в "производстве, а именно: сварочный инструмент (электрододержатели, горелки и др.), инструмент для зачистки шва и свариваемых кромок, для подгонки соединяемых деталей, инструмент для наладки сварочного оборудования и приспособлений и мерительный инструмент.

Для зачистки шва и свариваемых кромок в сварочном производстве применяются: молоток - шлакоотделитель (рис. 2, а), представляющий собой инструмент с острыми и узкими рабочими поверхностями. Он предназначен для удаления шлаковой корки, особенно с угловых швов или швов, расположенных в узкой, глубокой разделке между кромками;

проволочные щетки (рис. 2,б) используются для зачистки кромок перед сваркой и для удаления с поверхности шва остатков шлака. Щетки могут быть плоскими (широкими или узкими) или цилиндрическими (в виде кисти) для зачистки швов, расположенных в узком зазоре.



**Рис. 2. Инструмент для зачистки шва и свариваемых кромок**

а - молоток - шлакоотделитель, б - щетка

Наряду с ручным для зачистки применяется и механизированный инструмент.

Ручные шлифовальные машинки с пневматическим или электроприводом. Зачистка кромок перед сваркой выполняется шлифовальным кругом, закрепленным на шпинделе двигателя или в ручном приспособлении. В последнем случае шлифовальный круг вращается при помощи гибкого вала, что облегчает условия работы сварщика.

Для удаления с металлических поверхностей непрочной сцепленной окалины, брызг, краски и для других работ применяются также проволочные щетки (дисковые или торцовые).

Пневматические молотки предназначены для зачистки сварных швов от шлака и брызг, для удаления дефектных участков шва и т. п.

К инструменту сварщика относят слесарный инструмент для подгонки соединяемых деталей (вилки, струбцины, кувалды), для кантовки горячих деталей, а также инструмент для наладки сварочного и технологического оборудования.

Электрододержатели применяются при ручной дуговой сварке для зажима электрода и подвода к нему тока. Конструкция электрододержателя позволяет быстро заменить электрод без прикосновения к токоведущим частям и дает наименьшую длину остающегося огарка.

Электрододержатель должен быть легким ( не более 0.5 кг.), удобным в обращении, не стеснять движений и не утомлять руку сварщика. На смену электрода должно затрачиваться минимальное время ( не более 4 с). А также он должен выдерживать без ремонта 8000 зажимов электродов.

Для зажатия электрода в электрододержателях применяются различные устройства: специальные пружины, плоские пружинящие губки, устройства вилочного типа (пружинящие стержни), винтовые зажимы, зажимные

устройства типа клещей и др. Способ закрепления конца кабеля в электрододержателе должен быть простым, надежным и обеспечивать хороший контакт в месте зажима кабеля. Наилучшим является способ зажатия конца кабеля специальным

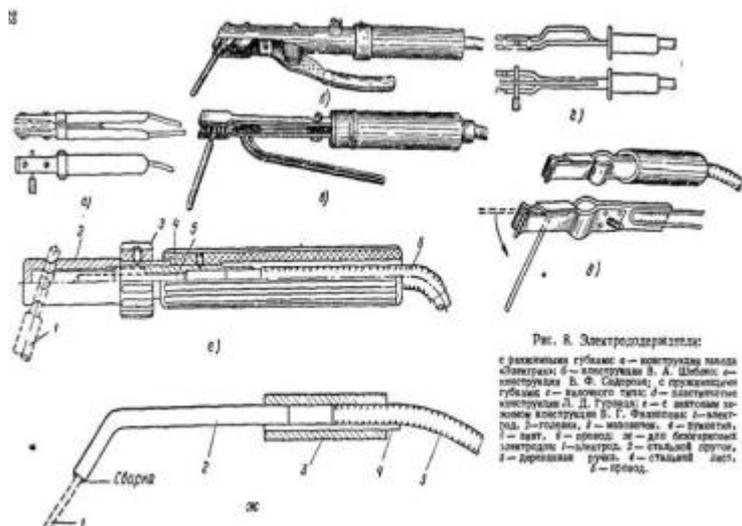


Рис. 8. Электрододержатели:  
 с разжимными губками а — конструкция Павлова  
 «б» — конструкции В. А. Шиболова; д —  
 конструкция Б. Ф. Савицкого, с пружинными  
 губками г — вальцового типа; в — зажимные  
 конструкции Л. Д. Гуровца; е — с винтовым за-  
 жимом конструкции Б. Г. Филиппова; ж — элект-  
 род; 1 — головка; 2 — маховичок; 3 — рукоятка,  
 4 — пружина; 5 — винт; 6 — для безгаркового  
 электродов 1 — электрод; 2 — стальной пруток,  
 3 — деревянная ручка; 4 — стальной лист,  
 5 — пружина.

конусом. Контактные губки электрододержателя, между которыми зажимается электрод, выполнены из меди.

Наилучшими являются электрододержатели с плоскими губками, в которых зажатие электрода обеспечивается упругостью самих губок или усилием специальной пружины. Электрододержатели с винтовым зажимом менее пригодны: они быстро выходят из строя вследствие нагрева и заклинивания винтового устройства. Ручка электрододержателя должна иметь надежную электроизоляцию из резины или пластмассы.

В зависимости от величины сварочного тока электрододержатели делятся на две группы: нормальные для тока до 350 а и усиленные для тока до 500 а. Для обеспечения безопасности работ применяются также электрододержатели с устройством для выключения напряжения во время смены электрода. На рис. 8 показаны некоторые конструкции электрододержателей.

В электрододержателе с винтовым зажимом конструкции Б. Г. Филиппова (рис. 8, е) электрод 1 вставляется в медную головку 2 и с помощью текстолитового маховичка 3 и рукоятки 4 зажимается винтом 5, в который впаян провод 6.

В электрододержателе для безогарковых электродов (рис. 8, ж) конец электрода приваривается в стык к торцу стержня электрододержателя. Электрод расплавляется полностью. Этот способ снижает расход электродов на 15--20%. Для приварки электродов сварщик должен пользоваться дополнительным несложным приспособлением -- кассетой.

**Щитки и шлемы** (рис. 9) служат для защиты лица сварщика от лучей сварочной дуги и брызг расплавленного металла. Они изготавливаются из фибры

черного матового цвета. В щиток вставляется специальное темное защитное стекло -- светофильтр. Нельзя пользоваться случайными цветными стеклами, так как они не могут хорошо защитить глаза от невидимых лучей сварочной дуги, вызывающих хроническое заболевание глаз.

Защитные стекла (светофильтры) для электросварщиков имеют различную прозрачность. Согласно ГОСТ 9497--60 при электросварке рекомендуется применять следующие защитные стекла:

при сварочном токе от 30 до 75 а..... Э-1

» » » от 75 до 200 а..... Э-2

» » » от 200 до 400 а..... Э-3

Снаружи стекло для защиты от брызг металла прикрыто обычным прозрачным стеклом, которое нужно два-три раза в месяц заменять новым, так как оно портится от брызг металла. Вес щитка или шлема не должен превышать 0,6 кг.

Одежда сварщика должна быть сшита из плотной и трудно загорающейся ткани -- брезента, асбестовой ткани и других материалов. При работе сварщик пользуется брезентовыми рукавицами. В резиновых одежде, обуви и перчатках работать нельзя, так как они легко прожигаются брызгами расплавленного металла. Одежда и обувь не должны иметь складок, открытых карманов, обшлагов, куда могут попадать капли расплавленного металла. Брюки должны быть выпущены наружу, а не заправлены в сапоги.

Прочий инструмент сварщика. Сюда относятся винтовые зажимы типа струбцин, в которые конец провода впаивается на твердом припое. Зажимы должны обеспечивать плотный контакт со свариваемым изделием.

Для зачистки швов и удаления шлака используют проволочные щетки -ручные и с электроприводом.

Для клеймения швов и обрубки шлака служат клейма, зубила и молотки.

При выполнении монтажных работ для хранения электродов применяют брезентовые сумки длиной 300 мм, подвешиваемые к поясу. В цеховых условиях для этой цели пользуются стаканами, изготовленными из отрезка трубы диаметром 50--75 мм, длиной 300 мм, с приваренным к нему доньшком-подставкой.

Сварочные провода служат для подвода тока от сварочной машины или трансформатора к электрододержателю и свариваемому изделию. Электрододержатели снабжаются гибким изолированным проводом ПРГ или ПРГН, сплетенным из большого количества медных, отожженных и

облуженных проволок диаметром 0,18--0,2 мм.

Применять провод длиной более 30 м не рекомендуется, так как это вызывает значительное падение напряжения в сварочной цепи.

В зависимости от тока берется следующее сечение сварочных проводов:

Ток, а . . . . .	200	300	400	500
Сечение сварочного про- вода, мм <sup>2</sup> :				
одинарного . . . . .	25	50	70	95
двойного . . . . .	2×16	2×25	2×35	

## 16. Основные сведения о сварочной дуге

*Сварочной дугой* называется длительный электрический разряд между двумя электродами в ионизированной смеси газов и паров, характеризующийся высокой плотностью тока и малым напряжением.

Под электрическим разрядом понимают прохождение тока через газовую среду. Существует несколько форм или видов электрического разряда: дуговой, тлеющий, искровой и др. Один разряд отличается от другого длительностью, напряжением, силой тока и др.

**Строение сварочной дуги.** Сварочная дуга состоит из катодной области, столба дуги и анодной области (рис. 13).

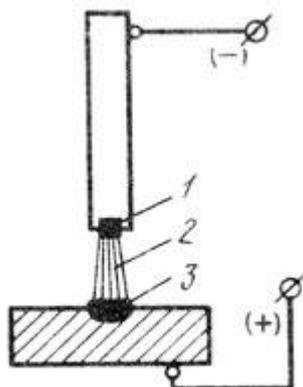


Рис. 13. Схема строения сварочной дуги: 1 - катодная область, 2 - столб дуги, 3 - анодная область

Катодная область распространяется на участок электродного материала и на приэлектродную часть дуги. На торце электрода при бомбардировке его положительными ионами образуется катодное пятно, с которого происходит при этом дополнительный выход электронов, кроме образовавшихся при ионизации в междуэлектродном пространстве. Электроны, выходящие с поверхности электрода, называются *первичными*. Выход первичных электронов объясняется несколькими факторами: термоэлектронной эмиссией (испусканием) электронов, автоэлектронной эмиссией и ионизацией на катоде. Термоэлектронная эмиссия заключается в нагреве поверхности электрода до высокой температуры, при

которой связь электрона с ядром атома ослабевает и под влиянием электростатического притяжения он отрывается с поверхности катода и с большой скоростью устремляется к аноду. С увеличением температуры нагрева электрода число вырываемых электронов увеличивается.

Автоэлектронная эмиссия состоит в том, что под влиянием высокой напряженности электрического поля с катода вырываются первичные электроны и летят к аноду. С увеличением разности потенциалов между электродами выход с катода первичных электронов возрастает.

Ионизация на катоде происходит в результате соударений с электронами положительных ионов, которые образуются при ионизации в столбе дуги и летят к катоду. Ионизация также происходит в результате излучения (так называемая фотоионизация).

В столбе дуги происходит образование вторичных электронов, а также положительных ионов. Электроны устремляются к аноду, поддерживая ионизацию в анодной области. Положительные ионы движутся к катоду, выбивают из него электроны; при этом часть положительных ионов, соединяясь с электронами, образует нейтральные атомы. Процесс образования нейтральных атомов называется рекомбинацией. Вследствие рекомбинации уравниваются процессы исчезновения и образования заряженных частиц в дуге и степень ионизации нагретого газа остается неизменной.

Анодная область дуги состоит из анодного, пятна и приэлектродной части. Анодное пятно подвергается бомбардировке потоком электронов, образовавшихся при ионизации в столбе дуги. В результате бомбардировки анода возникают ионы. От сильной бомбардировки анодная область всегда имеет форму вогнутой сферы (чаши), которая называется кратером. Особенности сварочной дуги. Сварочная дуга по сравнению с другими электрическими разрядами имеет следующие особенности:

1. Неравномерное распределение электрического поля в междуэлектродном пространстве (рис. 14). Вблизи электродов создаются резкие изменения потенциала - это катодное и анодное падения напряжения, причем катодное падение напряжения (порядка 10 В) обычно значительно больше анодного. Такие скачки падений напряжения на участке весьма малой протяженности вызваны условиями прохождения тока из одной среды (металлический проводник) в другую (газ и пары сварочных материалов).

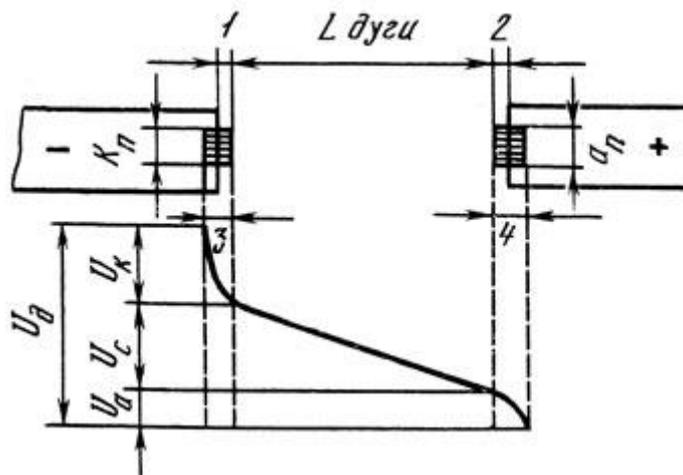


Рис. 14. Падения напряжения в дуге:  $U_k$ ,  $U_c$  и  $U_a$  - падения напряжений в катодной области, в столбе дуги и анодной области,  $U_d$  - напряжение дуги,  $K_n$  и  $a_n$  - диаметр катодного и анодного пятен; 1 и 2 - высота приэлектродных областей, 3 и 4 - высота катодной и анодной областей

2. Высокая плотность тока в дуге, достигающая тысяч  $A/cm^2$  на электродах и в столбе дуги.

3. Высокая температура дуги. Наибольшая температура достигается в столбе дуги, наименьшая - на поверхности катода и анода. Температура на поверхности катода и анода достигает температуры испарения электродов независимо от вида дуговой сварки. Например, при сварке стали на прямой полярности угольным электродом температура катода может достигать температуры кипения углерода, т. е.  $\sim 3700^\circ C$ .

Температура в столбе дуги зависит от величины эффективного потенциала ионизации  $U_{i_{эф}}$ , состава ионизированного газа и плотности тока столба дуги.

Между температурой столба дуги и эффективным потенциалом ионизации при сварке штучными электродами найдена зависимость  $T_c = 800 U_{i_{эф}}$ . Обычно величина эффективного ионизационного потенциала близка по величине к наименьшему ионизационному потенциалу одного из компонентов, участвующих в смеси дугового газа. Например, при сварке толстопокрытыми электродами, в состав покрытия которых включено легкоионизирующее (стабилизирующее) вещество, содержащее натрий,  $T_c = 800 \cdot 5,1 = 4080$  К, где 5,1 - величина ионизационного потенциала натрия.

Особенно сильно возрастает температура столба дуги при его сжатии (гл. XV).

4. Возможность получения различных статических вольтамперных характеристик. *Статической вольтамперной характеристикой дуги* называют зависимость падения напряжения в дуге от силы тока при постоянной длине дуги (установившемся горении). Дуга, применяющаяся в сварочной технике, может иметь падающую, жесткую и возрастающую характеристики в зависимости от условий сварки (рис. 15).

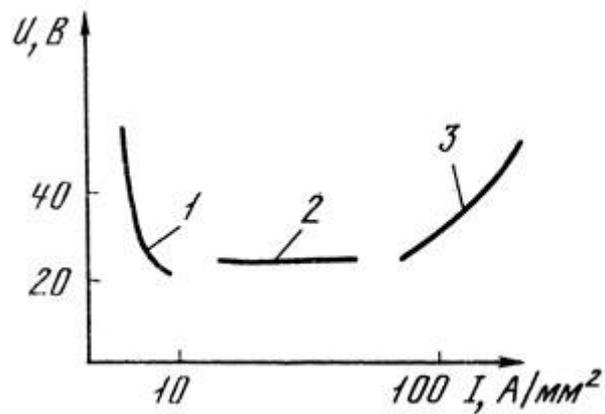


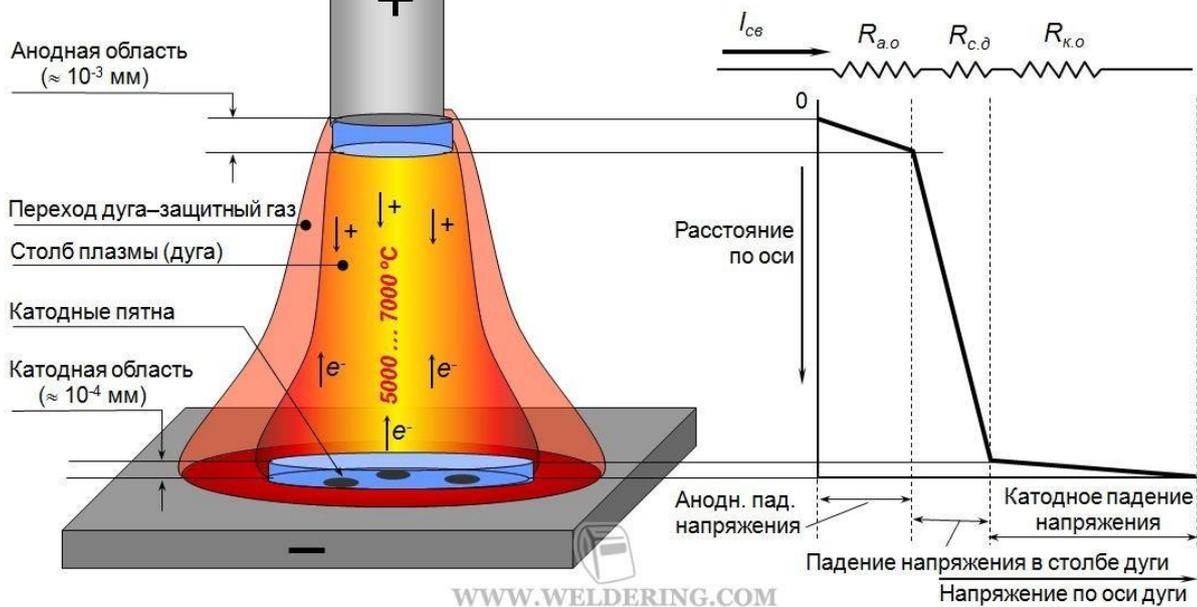
Рис. 15. Статические вольт-амперные характеристики дуги: 1 - падающая, 2 - жесткая, 3 - возрастающая

Падающая характеристика - с увеличением тока напряжение уменьшается, жесткая характеристика - увеличение тока не изменяет напряжения дуги, возрастающая характеристика - увеличение сварочного тока приводит к возрастанию напряжения дуги.

Падающий участок характерен для маломощной дуги, при сварочном токе менее 50 А и плотности тока на электроде 10 - 12 А/мм<sup>2</sup>. Жесткая характеристика соответствует сварочным токам 50 - 1000 А и плотностям тока на электроде от 12 до 80 А/мм<sup>2</sup>. Возрастающая характеристика дуги наблюдается при сварке тонкой сварочной проволокой с плотностями тока на электроде более 80 А/мм<sup>2</sup>.

## 17. Виды сварочных дуг

# Строение и свойства электрической сварочной дуги



В зависимости от схемы подвода сварочного тока, рода тока и других признаков различают следующие виды сварочных дуг:

дуга прямого действия (рис. 1, а), когда дуга горит между электродом и свариваемым металлом;

дуга косвенного действия (рис. 1, б), когда дуга горит между двумя электродами, а свариваемый металл не включен в электрическую цепь;

дуга между двумя плавящимися электродами и свариваемым изделием при питании переменным трехфазным током (рис. 1, в);

сжатая дуга (рис. 1, г)

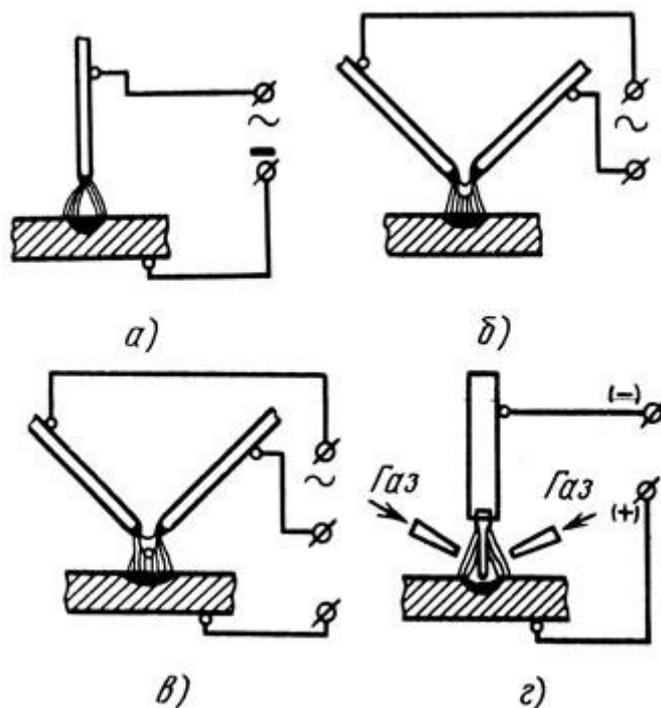


Рис. 1. Схемы сварочных дуг: а - прямого действия, б - косвенного действия, в - прямого действия двумя электродами при трехфазном токе, г - сжатая дуга

### Классификация состава плазмы столба:

- открытого типа возникает в воздушной атмосфере благодаря испаряемым из обмазки и металла компонентам;
- закрытая, возникающая под слоем флюса за счет газообразной фазы, образовавшейся из частиц электрода, металла, компонентов флюса при прохождении разряда;
- с подачей газовой смеси или однокомпонентного защитного газа.

Также сварочная дуга и ее характеристики могут косвенно классифицироваться по виду используемого в работе электрода (например, угольного или вольфрамового, плавящегося и неплавящегося). Опытные сварщики чаще всего используют неплавящийся электрод, чтобы лучше контролировать качество получаемого сварного соединения. Классифицируют дуговую сварку по материалу разжигающего электрода. Используют электроды:

- вольфрамовые тугоплавкие
- угольные или графитовые;
- стальные с различным типом обмазки, в состав которой входят ионизирующие компоненты.

По длительности воздействия различают стационарную (постоянную) электродугу и импульсную, применяемую при контактной сварке.

**Род тока при сварке** - постоянный или переменный, полярность на постоянном токе может быть прямой (минус от источника на электроде), или обратной (минус от источника присоединяется к детали).

Ток обратной полярности применяют при сварке тонкого металла легкоплавких сплавов, легированных, специальных и высокоуглеродистых сталей, чувствительных к перегреву, при полуавтоматической сварке арматуры и металлоконструкций легированной проволокой сплошного сечения, при сварке электродами с фтористо-кальциевым покрытием.

При сварке на переменном токе полярность электродов и условия существования дуги периодически изменяются в соответствии с частотой тока.

В каждом полупериоде ток и напряжение меняют полярности при переходе синусоиды через нулевое значение. Дуга при этом угасает, температура активных пятен и дугового промежутка снижается. Повторное зажигание дуги в новом полупериоде происходит при повышенном напряжении - пике зажигания, которое выше напряжения на дуге.

Для повышения устойчивости дуги переменного тока добавляют в покрытия электродов и сварочные флюсы такие материалы, как мел, мрамор, полевой шпат и др., содержащие калий, натрий, кальций и другие элементы.

Газы, вводимые в зону горения дуги для защиты расплавленного металла, оказывают влияние на зажигание дуги переменного тока. При сварке с инертными газами (гелий, аргон) зажигание дуги затруднено, но возбужденная дуга горит устойчиво.

При сварке вольфрамовым электродом в среде аргона происходит испарение частиц металла с поверхности сварочной ванны и ближайших холодных зон, вместе с которыми удаляются и окисные пленки, что улучшает условия сварки и качество шва.

Углекислый газ при сварке на переменном токе действует отрицательно, поэтому сварка в углекислом газе применяется преимущественно на постоянном токе обратной полярности.

## 18. Зажигание (возбуждение) и горение электрической дуги

Зажигание (возбуждение) электрической дуги производят двумя способами: касанием или чирканьем.

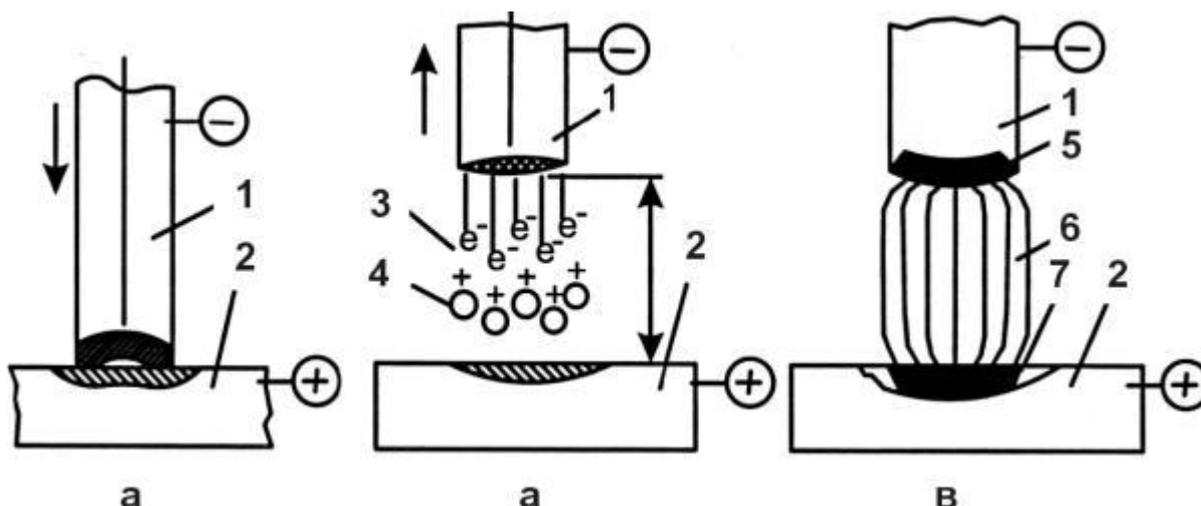
Процесс зажигания электрической дуги можно разделить на три этапа (рис. 4):

- короткое замыкание электрода на заготовку;
- отвод электрода на расстояние 3–6 мм;
- возникновение устойчивого дугового разряда.

Короткое замыкание (рис. 4а) выполняется для разогрева *торца электрода 1* и *заготовки 2* в зоне контакта с электродом. После отвода электрода (рис. 4б) с его

разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается *термоэлектрическая эмиссия электронов 3*.

Столкновение быстро движущихся по направлению к аноду электронов с молекулами газов и паров металла приводит к их *ионизации 4*. По мере разогрева столба дуги и повышения кинетической энергии атомов и молекул происходит дополнительная ионизация за счет их соударения. В результате дуговой промежуток становится электропроводным и через него начинается разряд электричества. Процесс зажигания дуги (рис. 4в) заканчивается возникновением *устойчивого дугового разряда 6* с возникновением *катодной области 5* и *анодной области 7*.



**Рис. 4.**

*Схема процесса зажигания дуги*

Возможно зажигание дуги без короткого замыкания и отвода электрода с помощью высокочастотного электрического разряда через дуговой промежуток, обеспечивающий его первоначальную ионизацию. Для этого в сварочную цепь подключают на короткое время источник высокочастотного переменного тока высокого напряжения (осциллятор).

В зависимости от длины дугового разряда различают:

- *короткую дугу*, если ее длина 2–4 мм;
- *нормальную дугу*, если ее длина 4–6 мм;
- *длинную дугу*, при ее длине более 6 мм.

Оптимальный режим сварки обеспечивается при короткой дуге. При длинной дуге процесс сварки протекает неравномерно, с неустойчивым горением и разбрызгиванием металла. Металл, проходя через дуговой промежуток, больше окисляется и азотируется.

Специалисты рекомендуют длину дуги определять по звуку, издаваемому ею при горении. Дуга нормальной длины издает менее громкий и равномерный звук. Длинная дуга издает неравномерный и потрескивающий, более громкий звук, что легко определяется опытным путем.

- Различают *технологические условия горения дуги*, такие как зажигание, чувствительность к изменениям длины в определенных пределах, быстрое повторное зажигание после обрыва и необходимое проплавление металла.

#### **Условия зажигания электрической дуги:**

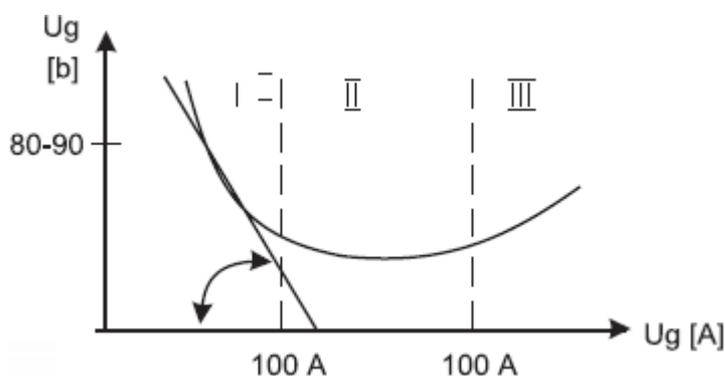
- наличие электрического источника питания дуги достаточной мощности, позволяющего быстро нагреть катод до высокой температуры при возбуждении дуги;
  - наличие ионизации столба дуги (в электрод вводятся элементы с низким потенциалом ионизации или применяют осцилляторы для возбуждения дуги);
  - стабилизация горения столба дуги (например, вводят дроссель в цепь питания).
- Зависимость напряжения дуги от тока в сварочной цепи называют статической вольт-амперной характеристикой дуги.

Вольт-амперная характеристика дуги имеет три области (рис. 5):

- *падающая область I* (при токах до 100 А);
- *жесткая область II* (при токах 100–1000 А);
- *возрастающая область III* (при токах свыше 1000 А).

Напряжение, необходимое для возбуждения дуги, зависит от рода тока (переменный или постоянный), дугового промежутка, материала электрода и его покрытия, свариваемого металла.

Дуга с падающей характеристикой (I) малоустойчива и имеет ограниченное применение, т. к. требует включения в сварочную цепь осциллятора.



**Рис. 5.**

## Статическая вольт-амперная характеристика дуги

Самое широкое применение нашла дуга с жесткой (II) и возрастающей (III) характеристикой. Каждому участку дуги соответствует определенный характер переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну:

- I и II участок – крупнокапельный,
- III участок – мелкокапельный или струйный.

Для сохранения неизменного напряжения на дуге необходимо длину дуги поддерживать постоянной.

### 19. Перенос электродного металла на изделие

При сварке плавящимся электродом на его конце под действием высокой температуры происходит плавление металла, образование капли, отрыв и перенос ее на изделие. В зависимости от размера и скорости образования капли можно различать капельный и струйный перенос (рис. 16). При ручной сварке в виде капли переносится до 95% электродного металла: остальные 5% - брызги и пары, значительная часть которых осаждается на изделии. Диаметр капли и скорость их образования зависят от вида дуговой сварки, диаметра электрода, силы тока, длины дуги и других условий.

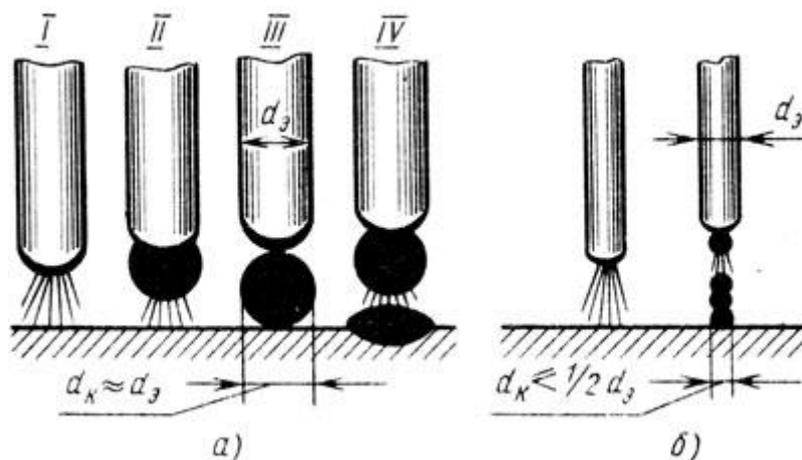


Рис. 16. Процесс переноса электродного металла на изделие при короткой дуге: а - крупнокапельный, б - струйный; I - IV - последовательные этапы процесса,  $d_k$  - диаметр капли,  $d_3$  - диаметр электрода

Перенос металла каплями без замыкания ими дугового промежутка происходит при сварке штучными покрытыми электродами. В этом случае большинство капель заключено в оболочку из шлака, образовавшегося от плавления покрытия. Так же переносится металл электрода в шов при сварке порошковой проволокой и в защитном газе.

При струйном переносе образуются мелкие капли, которые следуют одна за другой в виде непрерывной цепочки (струи). Струйный перенос электродного металла возникает при сварке проволокой малого диаметра с большой плотностью тока. Например, при полуавтоматической сварке в аргоне проволокой диаметром 1,6 мм струйный перенос металла осуществляется при критическом токе 300 А. При сварке на токах ниже критического наблюдается капельный перенос металла. Обычно струйный перенос электродного металла приводит к меньшему выгоранию легирующих примесей в сварочной проволоке и к повышенной чистоте металла каплей и шва. Скорость расплавления сварочной проволоки при этом увеличивается. Поэтому струйный перенос электродного металла имеет преимущества перед капельным. При сварке штучными электродами струйный перенос электродного металла невозможен ввиду низкой плотности тока на электроде (10 - 20 А/мм<sup>2</sup>).

**Производительность расплавления электродов.** Производительностью расплавления электрода называют массу расплавленного дугой электродного металла в единицу времени. Производительность расплавления электрода  $P_p$  зависит от количества тепла, сообщенного дугой электроду. Производительность расплавления электродов при сварке определяется по формуле  $P_p = \alpha_p I$  г/ч, где  $\alpha_p$  - коэффициент расплавления электрода, представляющий собой массу расплавленного электродного металла, приходящуюся на один ампер силы тока в течение часа горения дуги и имеет размерность г/А·ч. Обычно  $\alpha_p = 7 \div 22$  г/А·ч в зависимости от марки покрытия, плотности тока, рода и полярности тока и др.

**Производительность наплавки электродов.** Расплавленный металл электрода не полностью переносится в шов, часть его теряется на разбрызгивание, испарение и угар в процессе горения дуги.

Производительность переноса электродного металла в шов, или производительность наплавки  $P_n$ , определяется по формуле  $P_n = \alpha_n I$  г/ч. Как правило, коэффициент наплавки  $\alpha_n$  меньше коэффициента расплавления  $\alpha_p$  на величину потерь электродного металла. Обычно  $\alpha_n < \alpha_p$  на 1 ÷ 3 г/А·ч. Для электродов с железным порошком в покрытии  $\alpha_n > \alpha_p$ .

Коэффициент потерь электродного металла

$$\psi = \frac{\alpha_p - \alpha_n}{\alpha_p} \cdot 100\%$$

и составляет 3 ÷ 20%. Менее 3% потерь электродного металла обычно не бывает, а потери более 20% делают сварку электродами при данных условиях нерациональной.

Величины коэффициентов расплавления и наплавки используются для нормирования расхода электродов и времени сварки.

Пример. Определить производительность наплавки при сварке штучными электродами диаметром 4 мм при токе  $P=160$  А, если коэффициент наплавки данных электродов  $\alpha_n=10$  г/А·ч,  $\Pi_n=\alpha_n P=10 \cdot 160=1600$  г/ч=1,6 кг/ч.

## 20. Подготовка металла под сварку

Сварка – последний этап монтажа металлоконструкций. Процесс подготовки металла под сварку включает в себя несколько технологических операций. Сначала заготовки выкраивают из проката, придают им окончательную форму, изгибают под нужным углом. Для получения прочных соединений, однородных по структуре, во время подготовки деталей с поверхности удаляют окислы. Температура плавления оксидов обычно выше, чем у сплава. Если не снять верхнюю пленку, сложно будет сформировать ванну расплава.

### Правка и очистка

Деформации, полученные при транспортировке проката, устраняют вручную с помощью молотка или кувалды. Если не получается, применяют ручной пресс: заготовку укладывают между толстыми пластинами, с усилием сжимают, стягивая пластины между собой. Важно придать поверхности первоначальную форму, иначе возникнут внутренние напряжения, сварное соединение не получится прочным.

Небольшие искривления тонких заготовок устраняют на мягкой подложке, для исправления сложных дефектов применяются:

- листоправильные станки;
- всевозможные прессы, создающие высокое давление.

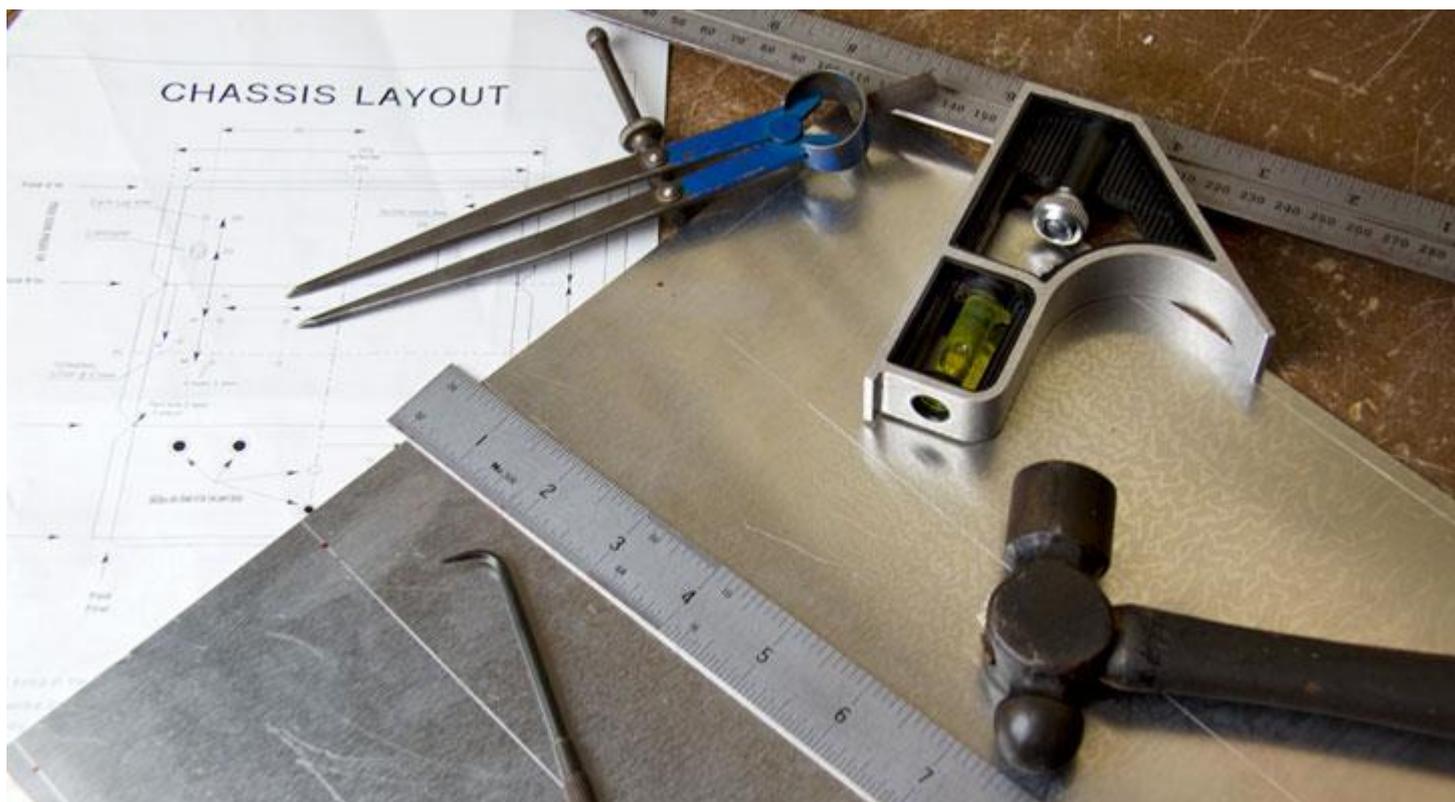
**Очистка** – еще один этап подготовки заготовок, подразумевает удаление грязи, пыли с поверхности металла, скопившейся за время транспортировки или хранения на складе. Для удаления стойких загрязнений бывает, нужна вода. Старую краску с б/у металла счищают пескоструйными аппаратами или шлифовальным инструментом, шкуркой.

### Разметка

Следующий этап подготовки деталей для сварки проводится вручную или с помощью специальных устройств. Самые простые приспособления – керн, металлическая линейка и штангенциркуль. Поверхность металла предварительно грунтуют, чтобы хорошо были видны риски. При поточном производстве делают шаблоны, их накладывают, обводят.

Различают понятия «наметка» и разметка. Первая – создание предварительного контура, вторая подразумевает кернение по всему периметру, маркировку. Наметка нужна при использовании шаблонов. Его сначала обводят чертилкой, а затем контур проходят керном. При ручной разметке сразу проводят кернение.

Размечать заготовки вручную сложно и долго. Подготовка и сборка заготовок с использованием оптической или мерной резки предпочтительнее. Для разметки металла созданы разметно-маркировочные автоматы, они работают на основе оптики по заданной программе. Керн движется быстро, размеченный листовой прокат выезжает из автомата со скоростью до 10 метров в минуту.



*Этап разметки проводится вручную или с помощью специальных устройств*

## **Резка**

Это обязательная процедура подготовки деталей, если сварка делается по чертежам. Для работы с металлом применяют различное оборудование:

- ручное (резак, ножницы по металлу), используется для простых геометрических форм из листового или ленточного проката;
- электроинструмент (пила, болгарка, дрель или шуруповерт с фрезой-насадкой);
- термическое (кислородный или газовый резак, дуговую сварку, плазмотрон), можно делать прямые и кривые резы.

Термическая резка состоит в расплавлении металла по заданному контуру. При поточном производстве используют полуавтоматы и автоматы.

При резке металла делают припуски для зачистки и разделки кромок. Раскрой ножницами – самый кропотливый и малопродуктивный. Сварщики чаще применяют термическую резку.



*При резке металла делают припуски для зачистки и разделки кромок*

### **Зачистка**

Технология зачистки металла перед сваркой подразумевает снятие:

- ржавчины, чтобы избежать включений в диффузном слое;
- следов смазки, масла, органика снижает качество сварки;
- заусенцы, частички металла, они могут стать причиной брака;
- загрязнения, ухудшают структуру шва;
- оксидный слой, он препятствует образованию ванны расплава.

Для зачистки используют металлические щетки, наждачную бумагу, напильник, любые абразивные инструменты. Даже незначительные включения в ванне расплава приводят к браку. Для снятия оксидов, обезжиривания цветных металлов применяют химические вещества: всевозможные растворители, спирт, кислоты. Для работы с алюминием, цветными и высоколегированными сплавами, берут новую щетку, чтобы в ней не было микрочастичек углеродистой стали. На отливках перед сваркой удаляют литейную корку, на штампованных заготовках – слой окалины.



*Для зачистки используют металлические щетки, наждачную бумагу, напильник, любые абразивные инструменты*

### **Подготовка кромок**

Толстостенные заготовки без предварительной подготовки тщательно не проварить, жидкий металл будет растекаться по поверхности, не проникая в стык. Соединение получится хрупким, при небольшой нагрузке сломается. Немаловажный момент подготовки – скругление острых краев. Необходимо сглаживать высоту металла 2 –3 мм в зависимости от толщины детали.

Подрезка кромок производится вручную, механически или с использованием горелок. Холодные технологии предпочтительнее, кромка получается ровнее. Тип и угол разделки зависит от применяемых расходников, вида сварочного оборудования. Размеры кромок указаны в соответствующих ГОСТах.



Цель подготовки кромок к сварке – обеспечить доступ к корню шва. У тонкостенных заготовок толщиной до 3 мм только выравнивают торцы. С зазором до 2 мм проваривают 4 мм детали, если они толще, швы делают с двух сторон. На кромках толстостенных деталей снимают фаску или делают скос. Для односторонней сварки стыки делают в виде буквы V или U, при двухсторонней – в форме X или K. Величина угла сопряжения от 45 до 60°. Если сваривают детали разной толщины, срезают только толстостенную заготовку. Важно правильно выбрать угол скоса, от него зависит:

- глубина проварки металла;
- величина шовного валика;
- расход электродов или наплавочной проволоки.

*Подрезка кромок производится вручную, механически или с использованием горелок.*

### Гибка

Существуют ограничения, связанные с хрупкостью металлов. Радиус сгиба должен превышать толщину профиля или детали в 25 раз, иначе возможны растрескивания, надломы. С толстостенными заготовками холодным методом не справиться, применяются методы горячей деформации в условиях производства или кузни. Обработка кромок перед горячим деформированием не делается, детали, доводят после гибки.

Добиться точного угла сгиба вручную сложно. Это – механизированный этап подготовки металла. Листовой прокат пропускают через гибочные валцы, гибочные автоматы. Холодная гибка, применяется после предварительной подготовки изделий под сварку: снятия кромок, разметки, рассверливания отверстий, если они есть в чертежах или нужны для сборки конструкции.

Толстые полосы последовательно пропускают через 3-валковые или 4-валковые станки. Для придания формы профилю применяют правильно-гибочные прессы.



*Радиус сгиба должен превышать толщину профиля или детали в 25 раз*

#### Сборка деталей под сварку

Подготовленные заготовки нужно зафиксировать в определенном положении. Это касается плоских и объемных конструкций. Заготовки надежно скрепляют, чтобы избежать деформации при сварке.

Величина зазора зависит от линейного расширения сплава. При сборке деталей под сварку придерживаются нескольких правил:

- к рабочей зоне должен быть максимально свободный доступ;
- сопряжения укрепляют специальными приспособлениями так, чтобы исключить сдвиг;
- все повороты, изменения положения конструкции в пространстве сводятся к минимуму;
- сборка под сварку сложных конструкций осуществляется поэтапно;
- жесткую фиксацию обеспечивают прихватки на расстоянии 30–80 см друг от друга или беглый шов;
- полужесткую или временную – струбцина, магнитные уголки, клинья, планочные гребенки, другие приспособления;
- объемные связи закрепляют болтовыми соединениями.

Прихватка – небольшой шов длиной от 50 до 100 мм, производится расходными материалами, приготовленными для работы. Если используется защитная атмосфера, прихватки тоже делают в облаке газа. Детали при подготовке желательно соединять с противоположной основному шву стороны. Если прихватки сделаны снаружи, перед сваркой их хорошо зачищают, снимают окалину и верхний оксидный слой. Удобно использовать специальное устройство для точечной сварки, в месте контакта образуется однородный слой.

При подготовке заготовок сложной геометрической формы вместо прихваток делается беглый шов, не превышающий по глубине половины основного. Он зачищается при обработке корня основного шва.

*Сборка предусматривает непроизводительные расходы, потерю времени, сил. Однако от надежности положения заготовок зависит прочность металлоконструкции.*



*Подготовленные заготовки нужно зафиксировать в определенном положении*

Подготовка труб под сварку

Подготовка фрагментов проводится так, чтобы исключить осевое смещение. Для подготовки нержавеющей и толстостенных труб нужны заводские условия. Марка стали влияет на глубину разделки торцов, угол снимаемой фаски

Трубы из углеродистой и низколегированной стали обрабатывают вручную холодным способом. Последовательность операций такая же, как при работе с плоскими деталями. Для резки используют несколько вариантов:

- делают раскрой ножницами по металлу;

- используют циркулярную пилу, насадку-фрезу или болгарку;
- применяют газовый резак.

Процесс подготовки металла к сварке заключается в обработке торцов, сглаживании кромок, снятии фасок, если стенка толще 3 мм.

Для любого вида сварки металл предварительно зачищают по всей окружности. Только для специальных электродов по ржавчине допускается варить металл без зачистки.

## 21. Технология ручной дуговой сварки

Дуговая сварка является популярной технологией, во время которой тепловая энергия, требуемая для оплавления соединяемых кромок и электрода, достигается благодаря воздействию постоянным или высокочастотным током свариваемые металлические поверхности. Этот вид сваривания используется на многих производствах и предприятиях. Он обладает простым технологическим процессом, экономичностью расходных материалов.

Все элементы, которые применяются при сваривании, имеют компактные размеры, это намного облегчает маневренность, а высокая производительность обеспечивает около 10 часов непрерывной работы. И это еще не все положительные качества сварочного процесса.

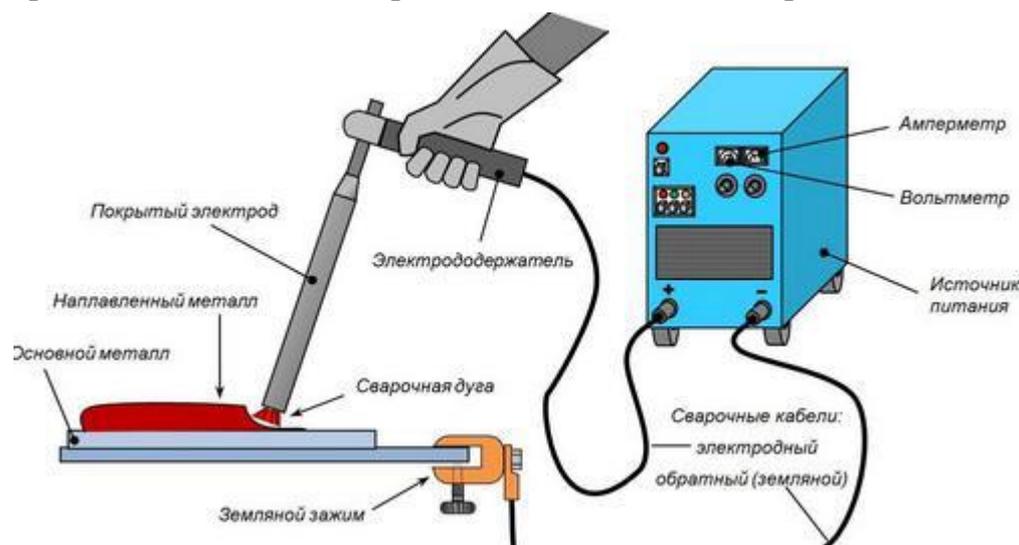


### Краткая характеристика

Ручная дуговая сварка - это распространенный способ сваривания, который обладает важными особенностями. Во время технологии осуществляется быстрое разогревание металла до температурных показателей плавления. Все это достигается благодаря влиянию электрической дуги, возникающей как эффект пробоя воздуха между электродом и свариваемыми заготовками. В область сварного шва вводятся дополнительные материалы, они заполняют зазор, который часто образуется между свариваемыми деталями.

Чтобы точно понять определение ручная дуговая сварка стоит внимательно рассмотреть особенности создания сварочной ванны. Она образуется в области нагрева. В этой зоне смешивается расплавленный металл детали с материалом присадочной проволоки.

Обычно наверх, всплывает шлак в расплавленном виде - это сгоревшая обмазка плавящегося электрода или остатки неплавящегося стержневого элемента. Шлак обеспечивает защиту раскаленной металлической основы от вредного воздействия газовых смесей, которые находятся в атмосфере. Данное воздействие может вызвать окисление шва. Это облегчает попадание в его структуру атомов газа, в итоге происходит снижение прочностных качеств, сварного соединения.



Ручная дуговая сварка может осуществляться при помощи двух видов электродов - плавящегося и неплавящегося. Первый вид является присадкой, он может применяться без дополнительных элементов. При применении второго вида обязательно в расплав следует вводить присадочную проволоку.

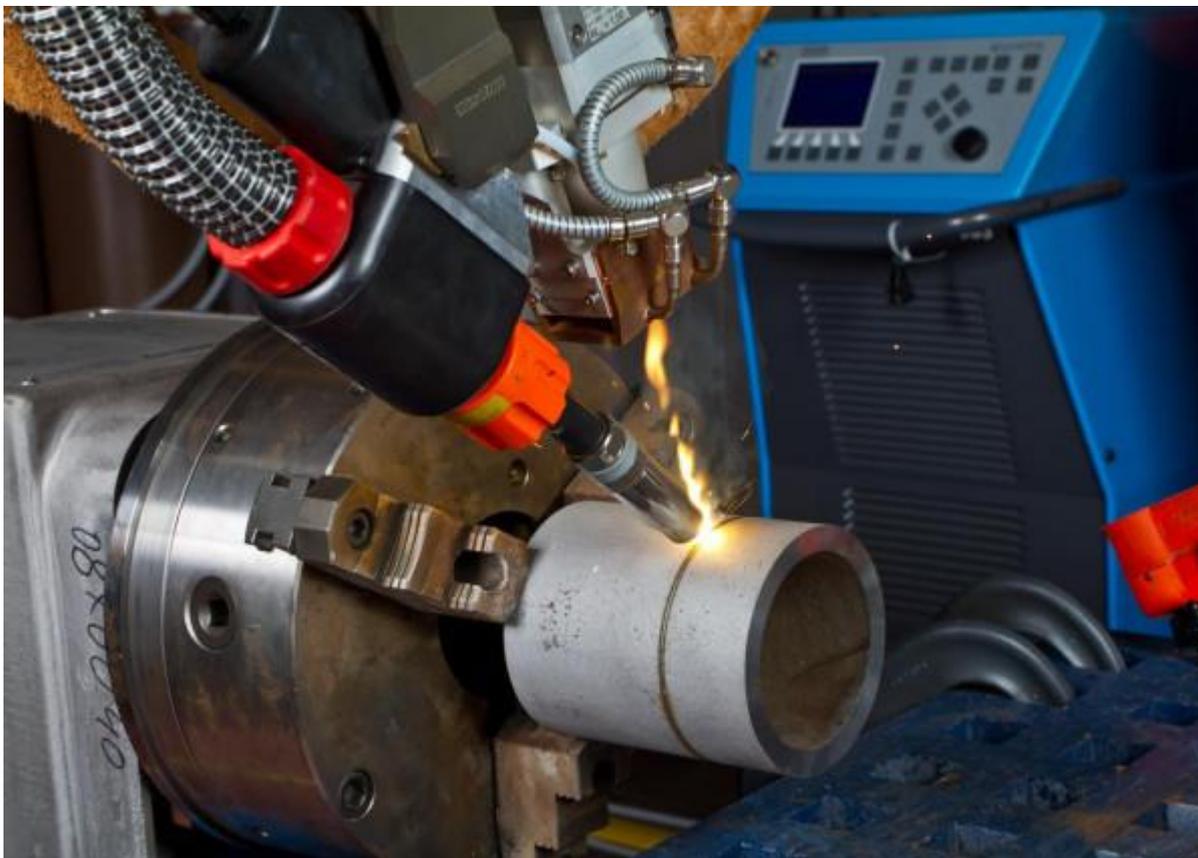
Существует разные техники проведения дугового сварочного процесса. Простая, рекомендует использовать простой и недорогой сварочный аппарат переменного или постоянного тока, а также необходимые защитные средства для сварщика.

**Важно!** Простая технология дуговой сварки предназначена для сваривания черных металлов, которые могут нормально выдерживать контакт с кислородом. Чтобы защитить сварочную ванну, где происходит оплавление стали и железа, требуется среда, выделяемая защитной обмазкой стержней.

Но существуют сложные виды сварок, к примеру, аргонодуговая, которая требует наличия горелки с соплом, через которую подается аргон или другая защитная газовая смесь. Инициирование сварочной дуги осуществляется при помощи короткого замыкания, которое образуется в результате контакта электрода с массой. Показатель температуры дуги может достигать до 50000С.

## Преимущества и недостатки

Что такое дуговая сварка мы рассмотрели, но все же пред тем как приступить к этому процессу, стоит узнать его положительные и негативные качества. Эта технология пользуется высокой популярностью, она прекрасно подходит для разных областей производства. При помощи нее можно производить сваривание разных видов металлов, использовать для ремонта важных металлических конструкций.



**РД сварка имеет другие не менее важные положительные особенности:**

1. Способ сварки РД требует применения недорогих и простых сварочных аппаратов тип РДС. Они обладают компактными размерами и легким применением.
2. Для работы нет необходимости использовать дополнительные средства защиты для сварочной зоны в виде флюса или газовых смесей. С данной функцией отлично справляются электроды.
3. Вид сварки РД позволяет производить работы в любых условиях - на улице, в цехах, на ветру, под плавающим солнцем. Это имеет особую важность при проведении работ в «полевых» условиях.
4. Ручная сварка отлично подходит для работы с разными видами металлов. Ее можно применять для углеродистых, легированных сталей, чугуна, алюминия, меди.
5. Сварка может применяться для металлических изделий, толщина которых может быть 2-3 сантиметра.

6. Этот вид сварочного процесса обладает простой технологией, с ней может справиться даже неопытный сварщик.

**Однако стоит помнить, что технология ручной дуговой сварки имеет отрицательные качества:**

1. Проведение ручного дугового сварочного процесса требует постоянные перерывы в работе. Они необходимы для смены расплавленного электрода на новый.
2. При отсутствии опыта или во время сваривания толстых металлических изделий может наблюдаться чрезмерный расход электродов. Замена производится, когда длина электрода достигает 5 см и меньше.
3. Технология ручной дуговой сварки плавящимся электродом сопровождается образованием шлака. Он оказывает положительное влияние на состояние сварочного процесса, шлак защищает область сварной ванны от кислорода. Однако после работы поверхность необходимо будет хорошо очистить, и это может вызвать некоторые сложности.
4. Качество сварных соединений напрямую зависит от квалификации сварщика.
5. Ручная сварка по сравнению с другими методами сваривания имеет низкий КПД и относительно невысокую производительность.
6. При помощи ручной дуговой наплавки угольным электродом не получится сварить изделия из оловянной или цинковой основы, а точнее все металлы, имеющие низкую температуру плавления. Это связано с тем, что при проведении сварки электрической дугой отмечается сильное повышение коэффициента тепловложения.
7. Ручная дуговая сварка плавящимся электродом не предназначена для работы с титаном, танталом и любыми другими видами металла, которые имеют активные химические свойства. Стержневые элементы не смогут предотвратить окисление области шва.
8. Во время проведения сварки ток проходит по всей длине электрода. Если его показатели будут высокими, то стержень перегреется и сварное покрытие разрушится.

**Важно!** Перед тем как начинать сварочный процесс необходимо не только узнать что такое ручная дуговая сварка, но также нужно научиться пользоваться оборудованием. Желательно предварительно пройти обучение, научиться выставлять правильные режимы для определенных видов металла. От этого зависит прочность и качество сварного шва.

## Назначение

Ручная дуговая сварка ММА пользуется широкой популярностью. Ее применяют при сваривании конструкции разного назначения и размера. Она может использоваться

при выполнении обычных работ в доме, на даче, а также в более широких масштабах - а производстве при изготовлении огромных изделий из металла.

Среди главных областей промышленности, где применяют данный вид сварочной технологии, можно выделить:

- разные сервисные и ремонтные работы, к примеру, автомобильная техника;
- сваривание трубных конструкций для воды, газа, нефтяных продуктов;
- кораблестроение (сварка листов корпуса);
- многие разновидности машиностроения.

РД сварочные работы часто применяются для проведения наплавки на поверхность деталей иных видов металла. Этот метод нашел широкое применение в бытовых условиях, его часто используют для сваривания беседок, скамеек, мангалов, качелей, применяют для ремонта изделий из металлической основы.

### Виды дуговой сварки

---

РД сварка металлоконструкций может проводиться разными способами, которые могут отличаться технологией, видами используемого оборудования и расходных материалов.



Выделяют несколько классификаций, которые пользуются высоким спросом:

- в зависимости от вида механизации - механизированный или автоматизированный способ;
- в соответствии с видом и полярностью тока;
- тип электрической дуги;
- разновидность используемой защиты сварочной области;

- в зависимости от используемых электродов.

Но стоит учитывать, что каждый вид имеет подвиды сварочного процесса. Каждый из них имеет определенную технику проведения. Все же стоит рассмотреть каждую классификацию сварки с использованием дуги.

**В соответствии с автоматизацией сварных работ выделяют:**

1. Ручного типа.
2. Полуавтоматическая - подача проволоки для сварочного процесса осуществляется автоматически, а движение электрода производится вручную.
3. Автоматического вида - передвижение проволоки и электрода производится автоматически.

В зависимости от вида и полярности тока сварка бывает:

1. **С использованием постоянного тока.** Осуществляет соединение поверхностей при помощи тонкого шва.
2. **С применением высокочастотного тока.** Плавление электрода осуществляется струйно, устраняются прорезы, привариваются прихваты.
3. Импульсная.
4. **С применением переменного тока.** Обычно эта технология применяется для разрезания металлических листов.

В зависимости от типа защитного средства от влияния кислорода:

- шлаковая;
- флюсовая;
- инертно-газовая.

**Стоит отметить!** Все способы защиты могут зависеть от условий и целей рабочего процесса. Главное назначение состоит в предотвращении попадания в сварочную область кислорода, который негативно влияет на прочность шва.

В зависимости от видов используемых электродов:

1. **Плавящийся стержень с обсыпкой.** Используется для формирования сварочной зоны и соединения кромок.
2. **Неплавящийся стержень из вольфрама.** Применяется для формирования напылений, восстановления поврежденных или разрушенных заготовок, наваривания наплывов.

В соответствии с условиями горения выделяют:

1. **Открытая дуга.** Она видима, но наблюдение за ней должно производиться через специальные средства для защиты глаз. Открытый вид применяется при проведении ручной технологии и сварок с защитными газами.

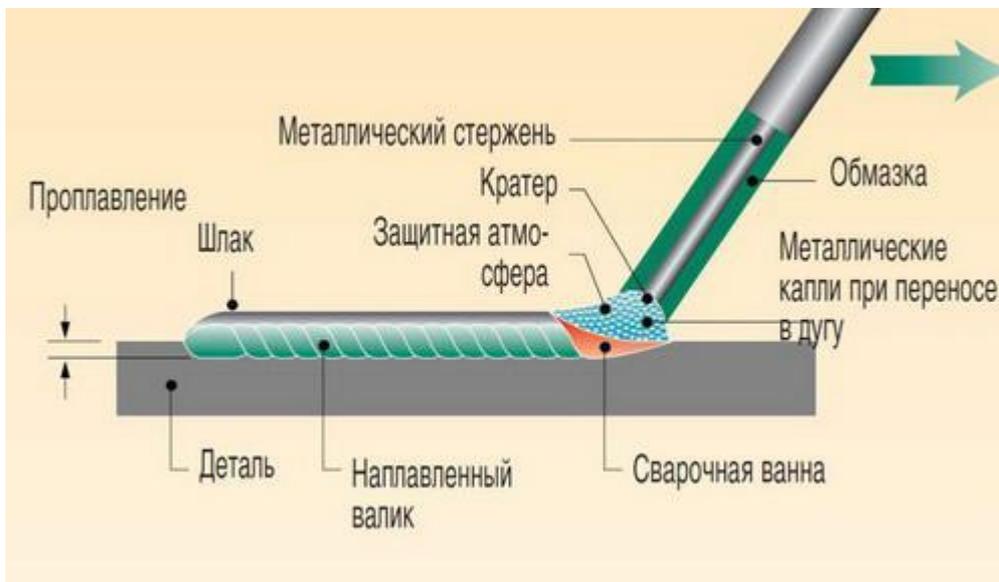
2. **Закрытая.** Вид дуги невозможно увидеть визуально. Она присутствует в составе расплавленной металлической смеси - флюсе, шлаке.
3. **Полуоткрытого вида.** Дуга видна. Но видеть возможно только одну часть. Первая имеется в металле, а вторая располагается над ним. Наблюдать за сваркой рекомендуется только через элементы для защиты глаз. Этот вид дуги используется при сваривании алюминия автоматическим способом.

По способу защиты сварной ванны:

- без использования защитных элементов - голый электрод, стабилизирующее покрытие электрода;
- применение шлаковой защиты - под флюсом, толстопокрытые стержни;
- шлакогазовая защита - стержни толстопокрытого типа;
- газовая защита - в газовой среде;
- комбинированные защитные средства - среда из газа, покрытие, флюс.

### Особенности технологии

Техника и технология дуговой ручной сварки основывается на создании замкнутого контура, по которому проходит ток разного вида - постоянного, переменного или высокочастотного импульсивного типа. Образование дуги происходит во время моментальной подачи напряжения к электроду после его касания со свариваемой металлической поверхностью.



Тепло, которое необходимо для плавления кромок, получают от электрической дуги. В зоне действия дуги происходит образование области жидкого расплава, в которой возникает перемешивание металла обеих заготовок. Во время остывания они кристаллизуются, образуют единое целое, а именно сварной шов. Данную область расплава, перемещающуюся вслед за электродом и дугой вдоль линии шва, называют сварочной ванной.

Металлический стержень электрода покрывают специальным составом, который называется флюсом. Во время сильного нагревания он расплавляется, образует инертный газ, который формирует защитное облачко над рабочей зоной и предотвращает окислительные процессы при взаимодействии расплава с кислородом. Для поддержания электродуги на держатель и на заготовки подается напряжение от источника.

**Важно!** Технологический процесс ручной дуговой сварки обычно проводится с использованием постоянного или переменного тока. Для этого применяются специализированные или универсальные источники.

Технология выполнения ручной дуговой сварки цветных металлов и сплавов, которые проявляют высокую химическую активность в нагретом состоянии, выполняется в атмосфере специально подаваемых газов с защитным действием в рабочую зону.

Имеется несколько основных приемов и движений стержней относительно поверхностей:

- затягивание отверстий и прожогов «перетаскиванием». Во время этого процесса расплавленная металлическая смесь натягивается с поверхности на поверхность при помощи электродов;
- сварочный процесс «полумесяцем» или «зигзагом».

Обычный балансный инвертор с мощностью 220 В при номинальном повышении тока может применяться для разрезания листовых металлических заготовок, а также в виде прутка. При стандартном режиме аппарат используется для сварочного процесса.

Чтобы выполнение ручной дуговой сварки было правильным, а шов качественным, стоит запомнить несколько важных правил:

1. Подача тока должна осуществляться постоянно.
2. Все поверхности и электроды должны быть в сухом состоянии, иначе сварочная ванна начнет искрить, а шов будет кривым и непрочным.
3. Сварочный кабель не должен иметь трещин, повреждений, обрывов. В противном случае ток перейдет в фазу, и электрод залипнет в сварочной ванне. В результате это приведет к замыканию и порче сварного шва под воздействием раскаленного электрода.

## 22. Виды сварочной проволоки



При проведении сварочных работ используются такие виды проволоки:

- **порошковая.** Востребована при работе с углеродистой сталью, которая впоследствии будет подвержена термической обработке;
- **алюминиевая.** Применяется при сварке заготовок, выполненных из такого же материала. Допускается содержание кремния, марганца, магния и других включений);
- **нержавеющая.** Подходит для работы с нержавеющей металлами: сталь с содержанием хрома или никеля;
- **омедненная** – для работы с высоко и среднелегированной сталью;
- **стальные.** Предназначены для сваривания стали средне- и низколегированной.

Проволока для нержавеющей стали



Такая присадочный материал используется в случаях, когда в инертной среде сваривается сталь с содержанием хрома или никеля. Основные достоинства:

- на выходе получается шов высокого качества;
- на поверхности сварного соединения нет трещин;
- шов устойчив к коррозии;
- небольшое количество брызг;
- стабильность дуги.

Нержавеющая сварочная проволока обладает важным достоинством: с ее помощью формируется шов с повышенным сроком службы. Она производится из высоколегированной стали, в которой содержание никеля, хрома и прочих аналогичных включений высоко. Они сводят к минимуму вероятность образования ржавчины или начала коррозионных процессов.

Проволока бывает сплошной и порошковой. Первая используется для работы в инертной среде или под флюсом. Защитные газы необходимы для того, чтобы исключить проникновение атмосферного кислорода, который сможет окислить нержавейку в процессе термического соединения. Безусловно, это отрицательно повлияет и на качество сварного шва.

Порошковые расходники представляют собой тонкостенную трубку, внутрь которой засыпается флюс и дополнительные элементы для газообразования. Их преимущество заключается в том, что не требуется инертная среда. Защитную оболочку такие присадочные материалы формируют сами. Их принято называть самозащитными.

Во время работы расходник проходит через токоподводящий наконечник. Из-за этого его диаметр может несколько уменьшиться, что в конечном итоге снижает качества сварного соединения. Поэтому проволоку принято делить на нормальную и повышенной точности. Диаметр варьируется в широком диапазоне значений: от 0,13 до 6 миллиметров. Ключевым параметром, влияющим на выбор присадочной проволоки для сваривания заготовок из нержавейки – соответствие материала деталей и расходных элементов.

Омедненная проволока



Материал обладает таким же набором достоинств, что и проволока для сваривания нержавеющей стали. Плюс ко всему он также способствует снижению расхода наконечников, независимо от марки сварочного аппарата. Основное предназначение – соединение высоколегированных и углеродистых сталей в защищенной среде.

На потребительский рынок расходник поставляется намотанным на пластиковую кассету. Благодаря удобству использования повышается результативность работы специалистов. Стандартная толщина омедненной проволоки составляет 0,6; 0,8 и 1 мм. Она упрощает повторный поджиг сварочной дуги и поддерживает стабильность ее горения на разных режимах.

Классический пример такого расходного материала – проволока СВ-08Г2С, имеющая в своем составе 1% кремния, 2% марганца и 0,8% углерода. Еще один вариант – это сварочная проволока марки esab, предназначенная для работы с большим ассортиментом сталей, включая инструментальную, судовую, штампованную; нержавейку, алюминий и даже чугун.

### Стальная проволока



Применяется в большинстве направлений производственной деятельности человека. Характеризуется большим количеством показателей, основными из которых являются диаметр сечения, прочность и состав материала, использованного в изготовлении. Существует много разновидностей стальной проволоки: армированная, пружинная сварочная, колючая и другие. Маркировка материала, предназначенного для сварочных работ, содержит аббревиатуру «Св». Поставляется разных диаметров: от 0,3 мм до 12 мм.

Существует более полусотни разных марок продукции, которые можно разнести по трем группам:

1. Для стали с низким содержанием углерода. В качестве примера: Св-10Г2, Св-08, Св-ЮГЛ.
2. Для сваривания низко- и среднелегированных заготовок. Подойдет проволока марок Св-08Г2С, Св-18ХС, Св-08ГС и другая.
3. Для соединения конструкций из высоколегированной стали: Св-12Х13, Св-08Х14ГНТ.

В некоторых случаях поверхность стальной проволоки покрывается тонким слоем меди. Делается это для защиты металла от окисления и улучшения его электропроводности.

Стальная проволока используется в работе с инертными газами или под флюсом. Это наиболее подходящий для аргонной сварки расходный материал. В качестве легирующих элементов при изготовлении используются хром, марганец, никель, титан, вольфрам или молибден. Благодаря трем первым компонентам есть возможность соединять нержавеющую сталь с высоким содержанием углерода.

#### Алюминиевая проволока



Используется в работе с алюминиевыми сплавами, в которых содержание кремния не превышает 3%, а меди – от 3 до 5%. Продукция, выпускаемая для полуавтоматических сварочных аппаратов, делается из алюминия, который положительно влияет на формирование шва:

- придает дополнительной прочности;
- в точности соответствует по цвету заготовкам;
- обладает такой же устойчивостью к коррозии, как и любой иной алюминиевый сплав.

Наиболее часто применяется в автомобильном производстве и судостроении. На третьем месте по востребованности находятся организации, где свариваемые конструкции взаимодействуют с водой. Характеризуется отличной пластичностью и небольшим весом; чаще всего применяется в газосварке. Пригоден для соединения других цветных металлов.

На практике нет металлических деталей или конструкций, которые бы состояли из чистого алюминия. всегда используются дополнительные включения, которые

улучшают те или другие характеристики. Это утверждение справедливо и для самой сварочной проволоки, хотя нередко количество добавок измеряется не превышает одного процента. К примеру, всего 0,2% титана дают возможность специалисту положить мелкозернистый шов, что крайне необходимо при выполнении точных работ.

Тем не менее, по ГОСТу проволока из чистого алюминия определена в отдельную категорию. Помимо нее существуют сплавы с магнием, медью или кремнием. В дополнение к положениям государственного стандарта есть и технические условия, которые регламентируют выпуск других сплавов: с хромом, а также с кремнием и магнием.

Важным условием качественного соединения является соответствие состава заготовок и расходного материала. Как исключения может рассматриваться только магний, который активно испаряется при высокой температуре. Его состав в присадке может быть большим от номинального на 10-20%.

### Порошковая сварочная проволока



Востребована при работе с углеродистой, среднеуглеродистой и низколегированной сталью. Для качественного результата важно отсутствие газовой среды. Такая проволока называется еще флисовой. Обусловлено это тем, что присадка не полностью металлическая, а наполнена внутри порошком – флисом. Его содержание составляет примерно 15-40 процентов от общей массы. От конкретной величины зависит свойство материала.

Основным достоинством расходного материала является высокое качество сварного соединения, простота удаления шлака, высокая стабильность электрической дуги во время сварочного процесса. В зависимости от особенностей наполнителя принято делить порошковую проволоку на пять групп:

- рутил-флюоритная. Предназначена для низколегированной стали;
- органическая рутиловая отлично соединяет низкоуглеродистые металлы;
- рутиловая разработана для стали со средним количеством углерода;

- флюоритно-карбонатная применяется при работе с низколегированными и низкоуглеродистыми металлами, которые используются в создании ответственных конструкций;
- флюоритная является промежуточным звеном между предыдущим типом проволоки и рутил-флюоритной.

Довольно часто порошковую проволоку путают со стальной. К примеру, марку esab одни производители называют стальной, а другие – порошковой. Такая ситуация вводит покупателей в заблуждение. Было бы справедливо флюсовые присадки выделить в отдельную группу. И это было бы справедливо, поскольку флюс кратно увеличивает возможности полуавтомата. И еще один очень важный плюс заключается в том, что порошковый расходник является залогом более качественного сварного соединения по сравнению с обычной металлической проволокой.

Прочность сварного шва во многом зависит от правильности выбора расходного материала. Опытные сварщики часто рекомендуют новичкам остановить выбор на универсальных материалах. И эта рекомендация вполне справедлива, но не всегда. К примеру, без инертных газов результат будет посредственным.

### **Проволока стальная сварочная**

Для сварки сталей применяется специальная стальная проволока, изготавливаемая по ГОСТ 2246 - 70. Стандарт распространяется на холоднотянутую гладкую проволоку из низкоуглеродистой и легированной стали, поставляемую в мотках или бухтах массой до 80 кг.<sup>1</sup>

Стандартом предусмотрено 77 марок сварочной проволоки различного химического состава; выпускается шесть марок низкоуглеродистой проволоки (Св-08, Св-08А, Св-08АА, Св-08ГА, Св-ЮГА и Св-10Г2), 30 марок легированной проволоки (Св-08ГС, Св-12ГС, Св-08Г2С, Св-10ГН, Св-08ГСМТ, Св-15ГСТЮЦА, Св-20ГСТЮА и др.), 41 марка высоколегированной проволоки (Св-12Х11НМФ, Св-12Х13, Св-ЮХ17Т и др.).

В легированной стали легирующих элементов содержится от 2,5 до 10%, в высоколегированной - более 10%.

Буквы и цифры в написании марок проволоки обозначают: Св - сварочная; 08 - 0,08% углерода (среднее содержание); А - пониженное, а АА - еще более пониженное содержание серы и фосфора; Г - проволока, легированная марганцем; 10 - в среднем 0,10% углерода; Г2 -содержащая до 2% марганца.

Условные обозначения легирующих элементов следующие: С - кремний; Н - никель; М - молибден; Т - титан; Ю - алюминий; Ц - цирконий; Г - марганец; Х - хром; Ф - ванадий; Р - бор; Б - ниобий; В - вольфрам; Д - медь.

В проволоке из низкоуглеродистой стали содержание углерода допускается не более 0,12%. Первые три марки проволоки (Св-08, Св-08А, Св-08АА) изготавливаются из кипящей стали ( $Si < 0,03\%$ ). Проволока марок Св-08ГА, Св-10ГА и Св-10Г2 изготавливается из полуспокойной стали. Повышенное содержание углерода в проволоке приводит к снижению пластичности металла шва, а повышенное содержание кремния при ручной сварке штучными электродами - к пористости. Поры в швах образуются от газов СО и СО<sub>2</sub>, которые получаются по реакции  $C + FeO \rightarrow CO_2 + Fe$  и  $CO + FeO \rightarrow CO_2 + Fe$ . Образованию этих газов способствует кремний, содержащийся в электродной проволоке. В момент перехода шва из жидкого состояния в твердое углерод и кремний, будучи самыми активными по химическому средству к кислороду по сравнению с другими элементами электродной стали, химически реагируют с закисью железа FeO и другими окислами с образованием газа СО и окисла SiO<sub>2</sub>. Газы СО и СО<sub>2</sub> остаются в виде наружных открытых пор.

При сварке электродом из кипящей стали более высокая концентрация углерода, чем кремния, способствует образованию СО и СО<sub>2</sub> при более высокой температуре, поэтому газы успевают улечься из сварочной ванны до затвердевания металла.

Кроме пористости применение проволоки из спокойной стали вызывает сильное разбрызгивание металла электрода, меньшее проплавление основного металла и худшее формирование шва.

При медленном остывании металла шва (газовая, электрошлаковая сварка) применение проволоки из спокойной стали пористости не вызывает.

Вид стали и марка проволоки	Содержание элементов, %							Примерное назначение
	углерод	марганец	кремний	хром	никель	сера	фосфор	
						не более		
Низкоуглеродистая Св-08	не более 0,10	0,35—0,60	не более 0,03	не более 0,15	не более 0,30	0,04	0,04	Обычные изделия
Низкоуглеродистая Св-08А	не более 0,10	0,35—0,60	не более 0,03	не более 0,12	не более 0,25	0,03	0,03	Ответственные изделия
Низкоуглеродистая Св-08АА	не более 0,10	0,35—0,60	не более 0,03	не более 0,10	не более 0,25	0,02	0,02	Особо ответственные изделия
Низкоуглеродистая Св-08ГА	не более 0,10	0,80—1,10	не более 0,03	не более 0,10	не более 0,25	0,025	0,03	Для сварки низкоуглеродистых сталей под флюсом
Легированная Св-08Г2С	0,05—0,11	1,8—2,1	0,70—0,95	не более 0,20	не более 0,25	0,025	0,03	Для сварки низкоуглеродистых сталей в углекислом газе
Легированная Св-18ХГС	0,15—0,22	0,8—1,1	0,9—1,2	0,8—1,1	не более 0,30	0,025	0,03	Для сварки низколегированных сталей в углекислом газе
Высоколегированная Св-06Х19Н9Т	не более 0,08	1,0—2,0	0,4—1,0	18,0—20,0	8,0—10,0 титана 0,5—1,0	0,015	0,03	Для сварки хромоникелевой аустенитной стали

### 3. Химический состав сварочной проволоки некоторых марок (ГОСТ 2246-70)

Химический состав некоторых из наиболее распространенных марок сварочной проволоки приведен в табл. 3.

Проволока выпускается следующих диаметров: 0,3; 0,5; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0 мм. Проволока с диаметрами до 3 мм применяется для шланговой сварки; от 1,6 до 6,0 мм - для ручной сварки штучными электродами; от 2 до 5 мм - для автоматической сварки под флюсом; проволока больших диаметров - для наплавочных работ.

В стандарте указаны технические условия на маркировку, упаковку, транспортирование и хранение проволоки. Каждый моток или бухту проволоки снабжают металлической биркой, на которой указано наименование завода-изготовителя, условное обозначение проволоки, номер партии, клеймо технического контроля.

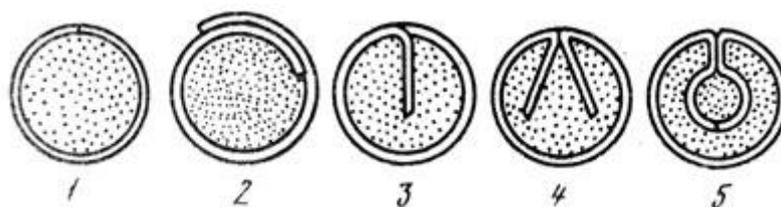
По требованию потребителя проволока изготавливается из стали, выплавленной электрошлаковым или вакуумно-дуговым переплавом или в вакуумно-индукционных печах; с омедненной поверхностью и ограниченным содержанием вредных примесей.

Каждая партия проволоки сопровождается сертификатом (удостоверением), содержащим основные технические данные.

### **Порошковая проволока**

Порошковая проволока представляет собой стальную оболочку, наполненную запрессованным в ней порошком. Она применяется как для сварки, так и для наплавки.

В настоящее время изготавливается порошковая проволока в основном пяти типов (рис. 22). Оболочка порошковой проволоки 1 и 2 типов представляет собой простую трубку; в 3 и 4 типах один или два края стальной ленты заформованы в оболочке, 5 тип выполнен в виде двух разделенных оболочек. Порошковая проволока изготавливается диаметром от 1,6 до 3,6 мм. Для нее используется лента из низкоуглеродистой стали марки 08кп холодного проката в состоянии "мягкая" или "особо мягкая".



*Рис. 22. Конструкция оболочек порошковых проволок*

Процесс изготовления порошковой проволоки начинается с удаления смазки с ленты в очистительном приспособлении. Затем лента пропускается через профилирующие устройства и заполняется шихтой. При протягивании через фильер

лента сворачивается в трубку и обжимает находящуюся в ней шихту. Проволока проходит последовательно через несколько фильер, постепенно уменьшается в диаметре до необходимого размера, а заполняющий ее порошок уплотняется. Важным показателем качества порошковой проволоки является коэффициент заполнения  $K_3$ , который определяется следующим выражением:

$$K_3 = \frac{M_{ш}}{M_{об} + M_{ш}},$$

где  $M_{ш}$  - масса шихты;  $M_{об}$  - масса оболочки порошковой проволоки.

Коэффициент заполнения порошковых проволок составляет 0,15 - 0,40.

В настоящее время отечественной промышленностью выпускается порошковая проволока с пятью видами шихты (порошков): рутило-целлюлозная, карбонатно-флюоритная<sup>1</sup>, флюоритная, рутиловая и рутило-флюоритная. Последние два типа порошковой проволоки используют для сварки с дополнительной защитой углекислым газом.

В табл. 5 приведены технические характеристики некоторых марок порошковой проволоки и сравнение прочности металла шва с выполненными сваркой покрытыми электродами.

Марка проволоки	Диаметр, мм	Конструкция	Основные компоненты порошка	Положение сварки	Прочность металла шва по сравнению с выполненными покрытыми электродами	Характер свариваемых изделий
ПП-АН1	2,8	Простая трубчатая	Рутил + целлюлоза	Н	Э50	Неответственные
ПП-АН3	3,0	Двухслойная	Мрамор + плавиковый шпат + рутил	Н	Э50А	Ответственные
ПП-АН7	2,3	То же	То же	Н, В <sub>1</sub> , Г	Э50А	То же
ПП-АН11	2,0—2,4	»	»	Н <sub>1</sub> , В <sub>2</sub> , Г, П	Э50А	»
ЭПС-15/2	2,5	С двумя загибами оболочки	»	Н	Э50А	»
ПП-2ДСК	2,3	С одним загибом оболочки	Плавиковый шпат	Н	Э50А	»
СП-1	1,6	—	Мрамор + плавиковый шпат	В <sub>1</sub> , Г	Э50	Неответственные

5. Характеристика порошковой проволоки

*Примечания.* 1. Конструкция проволоки приведена в соответствии с рис. 22.

2. Обозначения: Н - нижнее, В<sub>1</sub> - вертикальное "снизу вверх", "сверху вниз", Г - горизонтальное, П - потолочное. В<sub>2</sub> - вертикальное

Проволока типов ПП-АН1 и ПП-1ДСК с простой трубчатой конструкцией нашла применение при сварке неответственных изделий в строительстве, речном судостроении и т. д.

Проволока типов ПП-АН3, ПП-АН7 и ПП-АН11 с двухслойной оболочкой образует металл шва с лучшими механическими свойствами, чем проволока ПП-АН1; это позволяет применять ее для сварки ответственных изделий.

Весьма высокое качество металла шва получается при сварке порошковой проволокой с дополнительной защитой углекислым газом (ПП-АН4, ПП-АН8, ПП-АН9, ПП-АН10). Этой проволокой рекомендуется сваривать особо ответственные конструкции, эксплуатация которых происходит в сложных климатических условиях и при значительных динамических и знакопеременных нагрузках.

### **23. Покрытие электродов и их назначение.**

Стальной покрытый электрод представляет собой стержень определенных размеров, на поверхность которого опрессовкой или окунанием нанесено специальное покрытие. [Покрытие электродов](#) для [ручной дуговой сварки](#) и [наплавки](#) должно обеспечивать устойчивое горение дуги, защиту зоны [сварки](#) от воздействия, кислорода и азота воздуха, получение [металла шва](#) требуемого химического состава и образование шлаков с определенными физическими свойствами.

Это достигается рациональным выбором [электродной проволоки](#) и состава [покрытия](#). Особо важная роль принадлежит [покрытиям электродов](#), так как при одной и той же [электродной проволоке](#) лишь за счет изменения состава покрытий возможно получить [наплавленный металл](#) с самыми различными свойствами.

В зависимости от назначения компоненты, входящие в состав электродных покрытий, могут быть разбиты на следующие группы:

#### **Стабилизация разряда дуги**

Чтобы сварная дуга имела максимальную стабильность, электроды покрываются специальными веществами, которые имеют низкую величину потенциала ионизации. Это приводит к тому, что при выполнении сварочных работ дуга насыщается свободными ионами, стабилизирующими процесс горения. Сегодня покрытие электродов может включать в себя такие компоненты, как поташ, натриевое или калиевое жидкое стекло, мел, титановый концентрат, барий углекислый и прочее. Данные покрытия носят название **ионизирующих**.

#### **Защита области сварки от атмосферных газов**

Компоненты, входящие в состав покрытия электрода, способствуют созданию защитного облака, состоящего из диоксида углерода и монооксида углерода, а также участвуют в образовании шлакового слоя, образующегося на сварном шве и укрывающим сварочную ванну от газов, содержащихся в окружающем воздухе. К образующим газ компонентам относятся декстрин, целлюлоза, крахмал, пищевая мука и другие. А шлак образуют каолин, мрамор, мел, кварцевый песок, титановый концентрат и прочее.

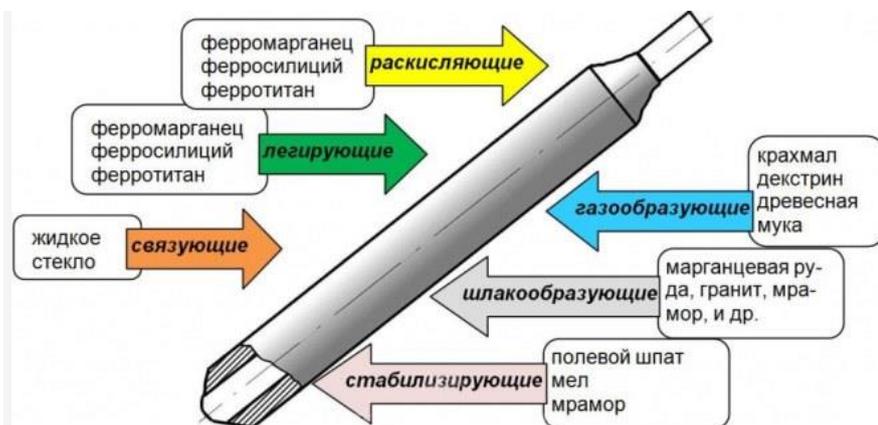


Рис.1. Компоненты покрытия электрода и их свойства

Помимо защиты шва от содержащихся в воздухе газов шлак способствует снижению скорости охлаждения металла и его последующей кристаллизации, что в свою очередь благоприятно сказывается на выходе из свариваемого металла газов и ненужных примесей.

### Легирование металла шва

Легирование способствует улучшению ряда свойств сварного шва. Основные металлы, которые способствуют легированию, – это титан, марганец, кремний и хром.

### Раскисление расплава

Во время сварки очень важно удалить кислород из металла, для чего используются специальные раскислители – это вещества, вступающие в реакцию с кислородом эффективнее железа, и связывающие его. Это титан, молибден, алюминий или хром, добавляемые как ферросплавы в состав покрытия электрода.

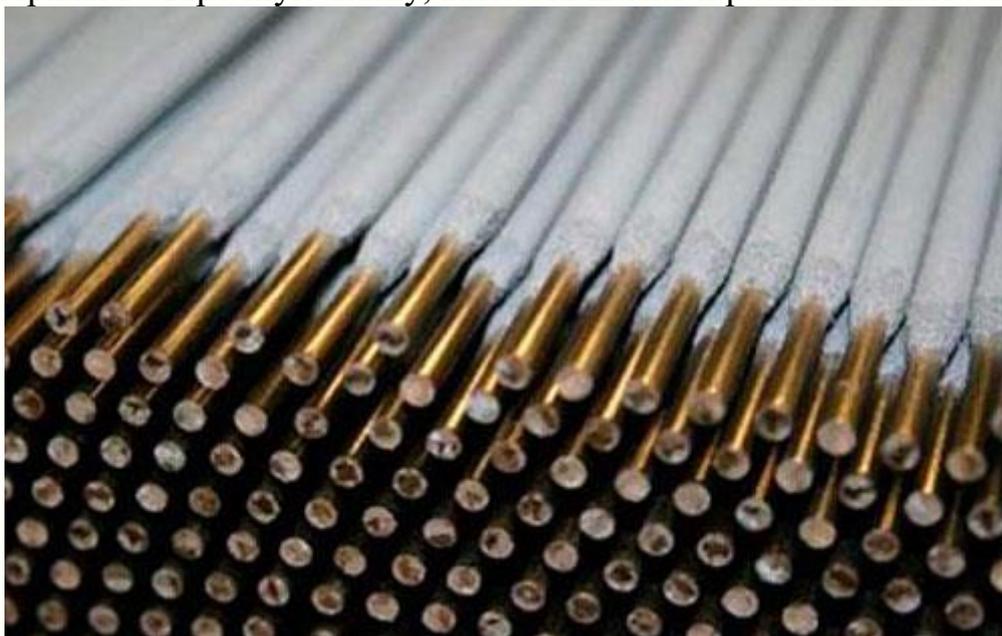
**Формующие** — предназначенные для придания покрытию хороших пластических свойств, которые необходимы при прессовом нанесении покрытия на электродные стержни. Хорошими пластификаторами являются бентонит, каолин и др.

**Связующие** — придающие необходимую прочность слою покрытия. Для этой цели чаще всего применяют жидкое стекло — водный раствор силиката натрия или калия.

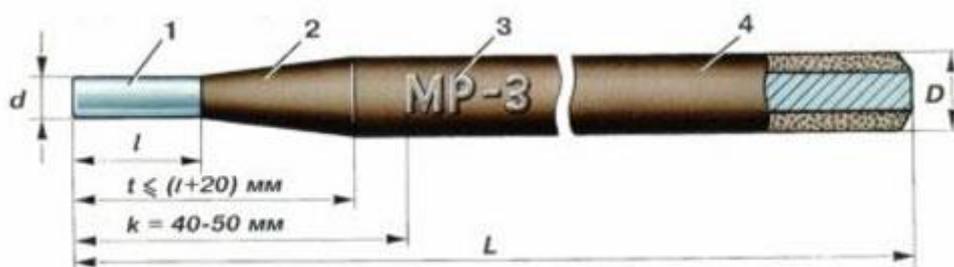
**Красящие** — придающие покрытию различную цветовую окраску для визуального разделения марок сварочных электродов. Используют различные красящие пигменты, в основном не влияющие на процесс дуговой сварки и свойства наплавленного металла.

## 24. Виды, состав и характеристика различных типов покрытий электродов

Химический состав покрытия и его толщина оказывают определяющее влияние на параметры процесса сварки - стабильность электрической дуги, особенности перехода материала стержня в сварочную ванну, вязкость шлака и расплавленного металла и пр.



Плавящиеся электроды



Плавящийся электрод для сварки: 1 - стержень, 2 - участок перехода, 3 - марка электрода, 4 - покрытие.

**Толщина.** В соответствии с ГОСТ 9466-75, по толщине, определяемой отношением наружного диаметра электрода ( $D$ ) к диаметру его стержня ( $d$ ), покрытия подразделяются на следующие типы в зависимости от отношения  $D/d$ :

- тонкие -  $D/d < 1,2$  - (обозначается буквой "М");
- средние -  $1,2 < D/d < 1,45$  - ("С");
- толстые -  $1,45 < D/d < 1,8$  - ("Д");
- особо толстые -  $D/d > 1,8$  - ("Г").

**Химический состав.** В зависимости от химического состава различают следующие виды покрытий электродов:

- кислое - обозначается А (А);
- основное - Б (В);
- целлюлозное - Ц (С);
- рутиловое - Р (R);
- смешанного типа - (RB, RA, RC и пр.);

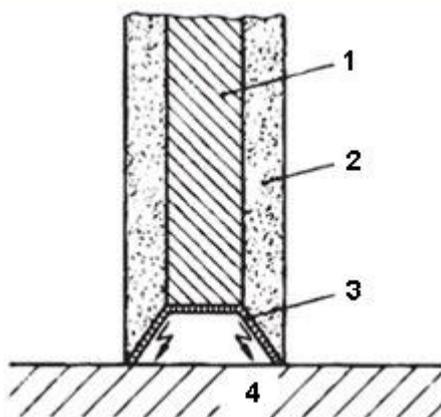
- прочие виды покрытий - П.

В скобках приведены обозначения по европейскому стандарту DIN EN 499 (С - cellulose, А - acid, R - rutile, В - basic). Встречающееся иногда обозначение RR означает "рутиловое толстое".

**Кислые покрытия.** Кислые покрытия, состоящие в основном из железной и марганцевой руды (оксидов железа и марганца), выделяют в дугу большое количество кислорода, который повышает ее температуру и снижает поверхностное натяжение расплавленного металла, делая его очень текучим. Это дает возможность увеличивать скорости сварки, но одновременно повышает опасность подрезов. Кроме этого, наличие в покрытии токсичных оксидов марганца делает сварку такими электродами небезопасной для здоровья сварщика. Поэтому чисто кислые покрытия используются в наше время ограничено. Их заменили смешанные рутилово-кислые (RA).

**Рутиловые покрытия.** Рутиловые покрытия состоят преимущественно из природного концентрата рутила (двуокиси титана  $TiO_2$ ), кремнезема (гранита, полевого шпата, слюды), карбонатов кальция и магния, ферромарганца. Электроды с рутиловым покрытием обеспечивают переход металла стержня в ванну малыми или средними каплями и характеризуются спокойным расплавлением с небольшим количеством брызг. Шов имеет тонкий рисунок, шлак легко отделяется от металла шва.

Очень важной особенностью электродов с рутиловым покрытием является легкость повторного зажигания дуги, обусловленная наличием  $TiO_2$ . При этом не требуется даже удалять пленку в кратере электрода, поскольку она (при достаточно высоком содержании  $TiO_2$ ) обладает проводимостью полупроводника и обеспечивает зажигание дуги без соприкосновения стержня с основным металлом. Это достоинство рутиловых покрытий создает большое удобство при работе короткими швами, когда требуется часто прерывать дугу.



Электрод с рутиловым покрытием: 1 - металлический стержень, 2 - рутиловое покрытие, 3 - шлаковая пленка в кратере электрода, 4 - изделие.

Рутиловые покрытия менее вредны для здоровья сварщика, чем другие.

Помимо чисто рутиловых покрытий, широко распространены смешанные: рутилово-целлюлозный тип (RC), рутилово-основной (RB), рутилово-кислый (RA), которые

также обладают хорошими технологическими свойствами. Electroдами с чисто рутиловыми и смешанными покрытиями (MP-3, АНО-21, АНО-4, ОЗС-6 и пр.) можно варить швы практически любого положения.

**Основные покрытия.** Покрытия основного типа состоят преимущественно из карбонатов магния и кальция (доломит, мрамор, магнезит). К ним добавляют в качестве разбавителя шлака плавиковый шпат ( $\text{CaF}_2$ ). Последний ухудшает работу при переменном токе, поэтому электроды с чисто основным покрытием предназначены для работы только на постоянном токе. Однако смешанные типы, имеющие меньшее содержание плавикового шпата, можно использовать и для работы с переменным током. Перенос металла в сварочную ванну происходит средними и крупными каплями, расплавленный металл получается вязкотекучим.

В отличие от прочих покрытий, образующая газозащитная среда минерального происхождения, состоящая в основном из  $\text{CO}$  и  $\text{CO}_2$ , лишена водорода, приводящего к образованию холодных трещин в наплавленном металле. Из-за низкого содержания водорода, на базе основного покрытия изготавливают так называемые низководородные покрытия электродов.

Металл шва, сваренного электродами с основным покрытием, обладает повышенной пластичностью. Этими электродами сваривают ответственные конструкции.

Электродами с основным покрытием можно выполнять швы любого пространственного положения, однако из-за повышенной вязкости металла, швы получаются выпуклыми и грубоватыми.

Покрытия основного типа обладают повышенной гигроскопичностью, поэтому хранить их нужно в сухости. Основное покрытие имеют такие популярные электроды, как УОНИ 13/45 и УОНИ 13/55.

**Целлюлозные покрытия.** Целлюлозные покрытия состоят из целлюлозы, органических смол, ферросплавов, талька и прочих веществ. Главной особенностью сгорания в дуге покрытий с органическими веществами является образование большого количества защитных газов, и очень малого - шлака. Это делает их удобными для сварки вертикальных швов (шлак не стекает вниз).

К недостаткам электродов с целлюлозным покрытием относится значительное количество брызг при сварке и пониженная пластичность металла шва, обусловленная большим (относительно других покрытий) количеством водорода, образующегося при сгорании органических компонентов.

**Покрытия с железным порошком.** Иногда в покрытие вводят железный порошок. Electroды с железным порошком обеспечивают повышенную производительность труда, отчего их и называют иногда "высокопроизводительными электродами". Железный порошок повышает проплавливающую способность сварочной дуги и обеспечивает качественную сварку стыковых соединений с нерегулярными или

повышенными зазорами - даже при отсутствии подкладок. Кроме того, он улучшает повторное зажигание дуги.

Если покрытие содержит более 20% железного порошка, в его обозначение дополнительно вводится буква Ж. Например, обозначение РЖ означает - "рутиловое с железным порошком". В качестве примера электрода с железным порошком в покрытии можно привести АНО-1.

## **25. Марки электродов, технологические свойства электродов.**

### **Обозначение электродов.**

Каждому типу электродов для сварки конструкционных, теплоустойчивых и высоколегированных сталей может соответствовать несколько марок электродов, особенно много марок разработано и выпускается для сварки конструкционных сталей. Например, к типу электродов Э42А относятся электроды марки УОНИИ-13/45, СМ-11 и др. Характеристика электродов различных марок приведена в табл. 10.5. Наиболее распространены для сварки в заводских условиях электроды марок АНО-1, АНО-6, ВРМ-12, ОЗС-4, МР-3, АНО-4, предназначенные для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей. В конструкциях, к которым предъявляются повышенные требования пластичности и вязкости сварных швов, для сварки применяют электроды УОНИИ-13/45, СМ-11, УОНИИ-13/55, СК2-50 и другие этих же типов в зависимости от требований к электродам, указанным в проекте. Электроды ОЗС-18 и КД-П предназначены для сварки низколегированной атмосферно-коррозионноустойчивой стали, электроды ВСФ-65У — для сварки конструкций из высокопрочной низколегированной стали, для сварки высоколегированных сталей используют электроды ОЗЛ-6, ЦЛ-11, ОЗЛ-8 и др. В монтажных условиях на строительных площадках наибольшее применение у сварщиков нашли рутиловые электроды МР-3, ВРМ-12 и АНО-4, которые обладают хорошими технологическими свойствами. Для ответственных конструкций используют электроды СМ-11, УОНИИ-13/45, УОНИИ-13/55, СК2-50, а также ОЗС-18, КД-П, ВСФ-65У, т. е. те же марки, что и при изготовлении конструкций.

В обозначение типа электрода входит буква Э (электрод) и цифра, показывающая минимальное временное сопротивление разрыву металла шва или наплавленного металла или сварного соединения в кгс/мм<sup>2</sup>. Буква А после цифрового обозначения электродов (типы Э42А, Э46А, Э50А) указывает на повышенные пластичность и вязкость металла шва. Каждый тип включает несколько марок электродов.

Выбор типа и марки электрода зависит от марки свариваемой стали, толщины листа, жесткости изделия, температуры окружающего воздуха при сварке, пространственного положения, условий эксплуатации сварного изделия и др. Следует учитывать, что электроды 3-й группы качества изготовления создают при сварке более плотный металл шва и с меньшим содержанием серы и фосфора в нем. Электроды должны обеспечивать однородность химического состава наплавленного металла с основным.

В технических документах (чертежах, технологических картах и др.) условное обозначение электродов состоит из обозначения марки, диаметра, группы электродов (ГОСТ 9466 - 75). Например электроды типа Э46А

#### Э46А-УОНИИ-13/45-3,0-УД2

Е 43 2(5)-Б10

по ГОСТ 9467 - 75 марки УОНИИ-13/45, диаметром 3,0 мм для сварки углеродистых и низколегированных сталей У с толстым покрытием Д 2-й группы, с установленной по ГОСТ 9467 - 75 группой индексов 43 2(5), указывающих характеристики наплавленного металла и металла шва, с основным покрытием Б для сварки во всех пространственных положениях 1, на постоянном токе обратной полярности 0, обозначаются на этикетках тары (коробках, ящиках, пачках)

ГОСТ 9466 - 75, ГОСТ 9467 - 75. Те же электроды в технических документах обозначаются УОНИИ-13/45 - 3,0 - 2 ГОСТ 9466 - 75.

Группа индексов в структуре условного обозначения электродов, предназначенных для сварки легированных конструкционных сталей с  $\sigma_{в} \geq 60$  кгс/см<sup>2</sup>, содержит данные о среднем содержании основных химических элементов в наплавленном металле, а также минимальную температуру, при которой металл шва и наплавленный металл после термической обработки при испытании образцов составляет ударную вязкость не менее 3,5 кгс·м/см<sup>2</sup>. Например, электроды типа Э85

#### Э85-ЦЛ-18-3,0-ЛД2

Е-18Х1Г1-2-Б10

по ГОСТ 9467 - 75, марки ЦЛ-18, диаметром 3,0 мм для сварки легированной стали Л с временным сопротивлением разрыву более 60 кгс/см<sup>2</sup>, с толстым покрытием Ц, 2-й группы, с установлением по ГОСТ 9467 - 75 группой индексов, указывающих на получение наплавленного металла и металла шва со средним содержанием 0,18% углерода, 1% хрома, 1% марганца; после термической обработки при испытании образцов вязкость не менее 3,5 кгс·м/см<sup>2</sup> при температуре - 10°С (2); электроды имеют основное покрытие Б, позволяющее производить сварку во всех пространственных положениях 1, на постоянном токе обратной полярности 0, обозначаются на этикетках тары (японках, коробках, пачках)

## 26. Плавящиеся электроды для сварки алюминия, меди, титана, чугуна и никеля.

Алюминий и его сплавы, обладающие рядом физических и технологических особенностей, успешно сваривают в инертных газах. Однако при необходимости применяют ручную дуговую сварку плавящимися электродами и ручную сварку неплавящимися электродами, например угольными.

В качестве покрытия электродов для сварки алюминия применяют легкоплавкие смеси хлористых солей щелочных и щелочноземельных элементов с добавкой небольшого количества фтористых соединений. В покрытия включают хлористые литий, калий, магний; фтористые натрий, калий; и т.п. Ввиду того что основная трудность сварки алюминия и его сплавов заключается в образовании на его поверхности тугоплавкой оксидной пленки  $Al_2O_3$  (температура ее плавления  $2050\text{ }^\circ\text{C}$ , а температура плавления алюминия  $658\text{ }^\circ\text{C}$ ), необходимо удалить эту пленку в процессе сварки. Это удается сделать, применяя хлористые соли и фтористые соединения, в результате расплавления которых в шлаке частично растворяется оксид алюминия и удаляется вместе со шлаком. Кроме того, соединяясь с хлоридами, оксид алюминия образует легкоплавкое хлористое соединение алюминия  $AlCl_3$ , которое кипит при температуре  $183\text{ }^\circ\text{C}$  и легко удаляется с поверхности металла. Сварка покрытыми электродами возможна только в нижнем положении короткой дугой постоянным током обратной полярности.

Медь характеризуется высокой теплопроводностью, жидкотекучестью и способностью сильно окисляться при высокой температуре, что усложняет ее сварку. Ухудшают свариваемость меди примеси, входящие в ее состав: кислород, сера, фосфор, сурьма, мышьяк, свинец и особенно висмут. Для ручной дуговой сварки применяют металлические покрытые электроды, а также неплавящиеся угольные электроды с присадочными прутками, покрытыми обмазкой или флюсом. Применяют также дуговую ручную сварку вольфрамовым электродом в среде аргона или азота.

На стержни из меди или ее сплавов наносят покрытие, замешанное на жидком стекле. Электроды АНМц/ОКЗ-АБ используют для заварки дефектов в отливках из алюминиевых и алюминиево-никелевых бронз. Электроды «Комсомолец-100» (К-ЮО), ОЗМ-2, ЗМ используют для сварки меди; электроды ЗТ со стержнями из латуни — для сварки латуни; электроды ОЗБ-1 — для сварки бронзы, заварки дефектов бронзового литья; электроды МН-5 для сварки медно-никелевого сплава между собой и с латунью и бронзой.

Сварка титана и его сплавов затруднена вследствие активного его соединения с кислородом и азотом воздуха, в результате чего сварной шов получается низкого качества. Для качественной сварки необходимо, чтобы в основном и присадочном металле было не более  $0,15\%$  кислорода,  $0,04\%$  азота,  $0,01\%$  водорода и  $0,1\%$  углерода.

Никель и его сплавы при сварке склонны к образованию кристаллизационных трещин и пор. Для предупреждения этих дефектов применяют электроды с основным покрытием марок Н-10, Н-37, Про-гресс-50 и др. Широко используют ручную аргонодуговую сварку никеля неплавящимися вольфрамовыми электродами.

Чугун, содержащий обычно более 2 % углерода и другие примеси, относится к плохо сваривающимся металлам. Различают «горячую» (с подогревом) и «холодную» сварку чугуна. При «горячей» сварке используют чугунные стержни с покрытием, при холодной сварке — электроды со стержнями из железно-кельмедного сплава, медную проволоку и др. В качестве покрытия для электродов со стержнями из никелевых сплавов используют мрамор или мел, графит, углекислый калий и другие компоненты, замешанные на жидком стекле. В покрытие электродов ЦЧ-4 вводят 70 % феррованадия, что обеспечивает образование в шве мелкодисперсного карбида ванадия, в результате чего структура шва получается ферритной и шов хорошо обрабатывается.

## 27. Режим сварки.

Режимом сварки называют основные показатели, определяющие процесс сварки, которые устанавливаются на основе исходных данных и должны выполняться для получения сварного соединения требуемого качества, размеров и формы, установленных проектом. К этим показателям при ручной дуговой сварке относятся: марка электрода, его диаметр, сила и род сварочного тока, полярность при постоянном токе, число слоев в шве. При многослойном шве — диаметр электрода и сила тока для первого и последующих слоев, а также другие характеристики. Для определения режима сварки используют исходные данные, например марку и толщину основного металла, протяженность и форму сварных швов, проектные требования к качеству сварных швов (тип электрода), положение швов в пространстве.

В зависимости от марки свариваемого металла и его толщины подбирают тип и марку электродов. Диаметр электрода выбирается в зависимости от положения сварки и толщины металла. При нижнем положении сварки диаметр электрода можно определить, руководствуясь соотношением между диаметром электрода и толщиной свариваемого металла

Площадь сечения многослойных швов обычно приводится в Единых нормах и расценках на сварочные работы, из которых можно легко определить число слоев (проходов) многослойного шва. При другом положении шва выбор диаметра электрода резко ограничивается: вертикальные и горизонтальные швы выполняют электродами диаметром 4 и 5 мм, потолочные — электродами диаметром не более 4 мм.

При сварке в вертикальном положении сила тока уменьшается на 10—20%, при сварке горизонтальных швов — на 15—20 % и при сварке потолочных швов — на 20—25 %.

Род тока и полярность определяют в зависимости от принятых для сварки электродов, например для электродов МР-3 может быть применен переменный или постоянный ток, для электродов УОНИИ-13/45 — только постоянный ток обратной полярности и т.п.

Скорость сварки (перемещения дуги) в значительной степени зависит от квалификации сварщика и его умения вести процесс сварки с перерывами только на смену электрода. Кроме того, на скорость сварки влияют коэффициент наплавки применяемых электродов и сила сварочного тока. Чем больше коэффициент наплавки и сила тока, тем быстрее перемещается дуга и, следовательно, растет скорость сварки. Следует иметь в виду, что произвольное увеличение силы тока может вызвать перегрев электрода.

## **Параметры сварки**

---

Чтобы выполнить правильный выбор режима сварки стоит рассмотреть параметры сварочной технологии. Каждый сварщик должен знать, из каких веществ состоит металл, отличия состава, толщину и вид конструкции. После получения требуемой информации выставляют правильный режим. Имеется много критериев, от которых зависят качественные характеристики работ. По этой причине их разделяют на основные и дополнительные параметры режима сварки.

### **Основные**

Основные параметры режима сварки оказывают влияние на объемы требуемой энергии, а также они определяют ее передачу на металлическую поверхность.

Среди главных показателей сварочной технологии можно выделить:

- сила тока;
- вид полярности тока;
- род тока;
- размер диаметра стержней;
- показатель длины дуги;
- уровень напряжения;
- скорость движения вдоль соединения;
- число проходов.

Каждый критерий параметр оказывает влияние на свойства формирования соединения. В процессе сваривания можно изменять показатели, это позволит получить более прочный и надежный шов.

Существуют определенные особенности основных параметров, которые необходимо учитывать при проведении сварочных работ:

1. От показателя силы тока зависит интенсивность расплавления металла. Чем выше данный параметр, тем производительнее сварочный процесс. Если будет установлена высокая сила тока без учета требуемого диаметра электрода, тогда будет отмечаться снижение качественных характеристик шва. А при низком токе происходит обрывание дуги, и в результате этого появятся области с непроварами.
2. Полярность тока является направлением движения энергии (от катода к аноду и наоборот). Совместно с направлением подбирают ток - он может быть постоянного или переменного типа. Если осуществляется сваривание с использованием постоянного тока с обратной полярностью, то соединение получится глубже на 40 %.
3. При сваривании расплавляемый материал должен равномерно заполнять соединение. Иначе прочностные характеристики снизятся.

### **Дополнительные**

Однако чтобы режим сварки был правильным, стоит выставить правильные настройки. Но они обычно устанавливаются с учетом дополнительных параметров, среди которых можно выделить:

- вылет стержней;
- вид материала и толщина покрытия электрода;
- температурные показатели свариваемых изделий;
- вид расположения элементов;
- форма кромок;
- степень подготовки поверхности.

### **Как подобрать сварочный ток**

---

Расчет режимов ручной дуговой сварки осуществляется с учетом выставления главных параметров тока, а именно рода, полярности и силы. В зависимости от рода ток бывает переменным и постоянным. Полярность делится на прямую и обратную.

Рассматривая основные параметры режима сварки, стоит обратить внимание на величину силы тока. Она подбирается при помощи определенных таблиц. Показатель тока определяется в соответствии с толщиной свариваемых изделий из стали, сварочной проволоки. А вот точные показатели юстировки определяются в зависимости от вида дуги и соединения. Стоит учитывать, что чем сильнее ток, тем температурные показатели под основанием дуги будут выше. Это все отразится на скорости сварочных работ.

Проведение сварочной технологии с использованием тока с высокой силой и сильно тонкого сварочного провода может к перегреву и разбрызгиванию расплавленного металла. Если применяются слишком тонкие элементы, то данный режим может привести к их прожиганию.

### РОД И ПОЛЯРНОСТЬ ТОКА

	– ПОСТОЯННЫЙ	~ ПЕРЕМЕННЫЙ
<b>Прямая</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Сварка с глубоким проплавлением основного металла</li> <li>● Сварка низко- и среднеуглеродистых и низколегированных сталей толщиной 5 мм и более электродами с фтористо-кальциевым покрытием: УОНИ-13/45, УОНИ-13/55 и др.</li> <li>● Сварка чугуна</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Сварка низкоуглеродистых и низколегированных сталей (типа 09ГС) в строительномонтажных условиях электродами с рутиловым покрытием</li> </ul>
<b>Обратная</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Сварка с повышенной скоростью плавления электродов</li> <li>● Сварка низколегированных низкоуглеродистых сталей (типа 16Г2АФ), средне- и высоколегированных сталей и сплавов</li> <li>● Сварка тонкостенных листовых конструкций</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Сварка при возникновении магнитного дутья</li> <li>● Сварка толстолистовых конструкций из низкоуглеродистых сталей</li> </ul>

При использовании тока со слабой силой может происходить обрывание дуги, она становится неустойчивой. В итоге соединение выходит низкого качества, образуется много зон с непроварами. По этой причине многие сварщики не советуют использовать данный режим.

**Важно!** Глубинные показатели сварочной ванны зависят от типа используемого тока. Если оборудование используется на переменном токе, то показатель глубины провара будет на 15 % выше, чем у переменного тока.

При прямой полярности отмечается сильное нагревание металлического изделия. По этой причине данную полярность рекомендуется применять для сваривания толстых элементов, потому что для образования качественного соединения требуется большее расплавление металла. Если прямая полярность будет применяться для тонких деталей, то они быстро сгорят и шов выйдет низкого качества. Для тонких изделий стоит применять ток с обратной полярностью.

### Взаимосвязь между силой тока и толщиной электрода

Рассматривая параметры сварки, стоит обратить внимание на связь между силой тока и толщиной электрода. Размер стержня должен подбираться в соответствии с толщиной свариваемого шва и с используемым методом сварочной технологии. К примеру, для изделия с толщиной 3-4 мм рекомендуется применять стержни 3 мм.

Сваривание многопрофильных элементов осуществляется в несколько проходов, на начальном этапе используется электрод с размером 4 мм.

## Сила сварочного тока

при ручной дуговой сварке может быть определена в зависимости от диаметра электрода и допустимой плотности тока, где

$d_{\text{э}}$  – диаметр электрода (стержня), мм;  
 $j$  – допускаемая плотность тока А/мм<sup>2</sup>

$$I_{\text{св}} = \frac{\pi d_{\text{э}}^2}{4} j$$

### Значения допускаемой плотности тока в электроде при ручной дуговой сварке

Виды покрытия	Допускаемая плотность тока в электроде А/мм <sup>2</sup> при $d_{\text{э}}$			
	3	4	5	6
Рутиловое (рудно-кислородное)	14-20	11,5-16	10-13,5	9,5-12,5
Основное (фтористо-кальциевые)	13-18,5	10-14,5	9-12,5	8,5-12,0

При  $\gg d_{\text{э}}$  и неизменном  $I_{\text{св}}$  плотность тока  $\ll$ , что приводит:  
 - к блужданию дуги,  
 - увеличению ширины шва,  
 - уменьшению глубины провара.

11

После выбора стержней стоит воспользоваться специальными таблицами, в которых указывают требуемые показатели силы тока, именно они позволяют выполнить правильный расчет режимов сварки. К примеру, для стержней 3 мм соответствует показатель 65-100 А. Для вертикальной и потолочной сварки подходит электрод с диаметром не менее 4 мм. При горизонтальном сваривании сила тока снижается на 15-20 %.

### Особенности длины дуги

На выбор и расчет режимов сварки оказывает влияние длина дуги, а именно расстояние от конца стержня до заготовки. Этот критерий зависит от выбранных стержней, обычно он указывается в специальных таблицах.

**Стоит отметить!** Чтобы получить прочное сварное соединение и качественное проваривание требуется добиться единого значения длины дуги по всей области шва. Для этого требуется опыт и определенные навыки.

Для стержней с диаметром 4 мм показатель длины дуги должен быть 4,5 мм. Сохранить данное состояние в течение сварочного процесса достаточно тяжело. Обычно для этих целей применяются сварочные каретки.

## Диаметр электрода

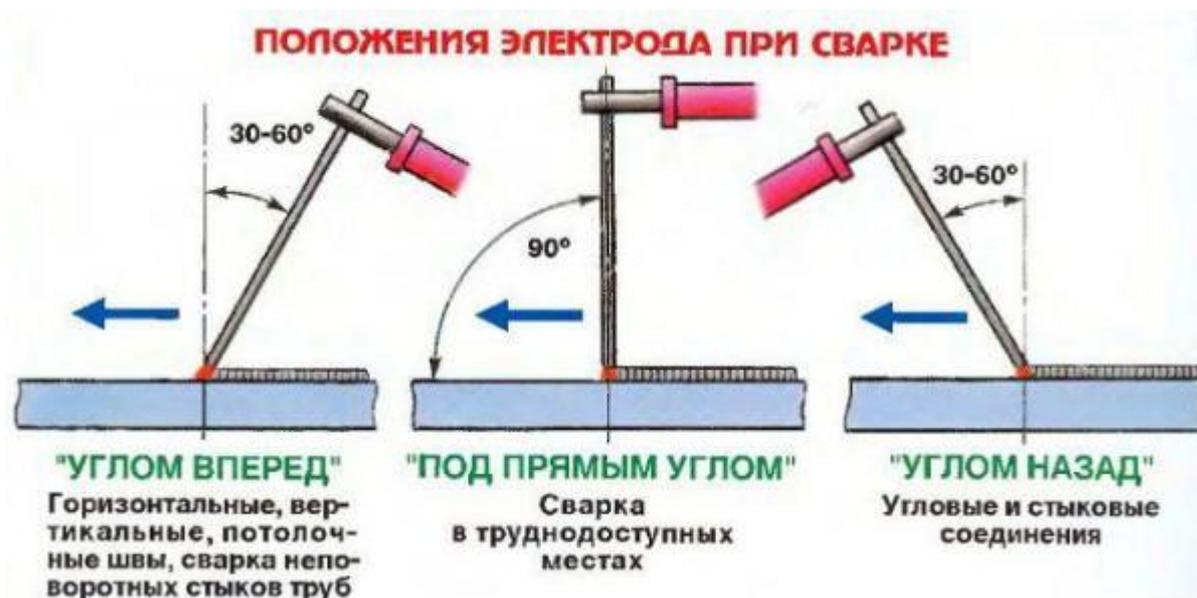
Выбор параметров режима сварки осуществляется с учетом типа электрода. Диаметр зависит от показаний толщины металлического изделия и положения соединения.

Независимо от толщины швы в разных положениях свариваются при помощи стержней с диаметром 4 мм.

Если шов обладает многослойной структурой, то для сваривания первого соединения стоит использовать стержни 3 или 4 мм. Остальные швы обрабатываются при помощи электродов с большим диаметром. Ниже имеется таблица режимов сварки, в которой указана толщина металла, диаметр электрода и сила тока.

## Угол наклона электрода

Выполняя расчет режимов сварки полуавтоматом необходимо брать во внимание критерии угла наклона электрода. При сваривании стержень по отношению к шву должен быть с небольшим отклонением от нормы на 10 градусов. Глубина и ширина соединения зависит от расположения стержней к стыку.



Если сваривание осуществляется углом вперед, то глубинные показатели уменьшаются, а соединение расширится. Это происходит потому, что дуга нагоняет волну расплава перед собой, через которую выполняют расплавление металла.

Если выбирается режим с углом наклона назад, то расплав будет переходить в конец сварочной зоны. Электрическая дуга оказывает прямое влияние на соединяемые изделия. В результате этого будет увеличение глубины проплавления стыка и уменьшение ширины шва.

## Наклон заготовок

Если вы думаете над тем, как рассчитать режим сварки, то не стоит упускать показатель наклона заготовок, которые используются для сваривания. В момент, когда держак проводят сверху вниз, то под дугой происходит утолщение расплава. В итоге

глубина провара становится меньше, а соединение расширяется. Если сваривание начинается с нижней части с последующим движением вверх, то слой расплава под дугой истончается. Глубина ванны повышается, а соединение становится уже.

**Важно!** Если есть возможность при сварке производить наклон деталей, то их рекомендуется разместить так, чтобы область стыка располагалась под углом в 8-10 градусов.

Если соблюдать угол в пределах указанных параметрах, то будет формироваться нормальное соединение. При большем уклоне и при осуществлении сварки на спуск из кратера вытечет весь расплавленный металл. А при проведении сваривании сверху вниз будут возникать области с непроварами.

### **Скорость провара**

Стоит учитывать, что расчет скорости сварки может влиять на прочностные качества соединения. При осуществлении сваривания расплавленная металлическая масса должна заполнять ванну. Должен выйти равномерный переход с образованием нормального покрытия кромок, а структура соединения должна быть без подрезов, наплывов.

Оптимальная длина шва должна быть в 1,5-2 раза больше диаметра применяемого стержня. Если будет превышена скорость сварки, то металлическая структура не сможет нормально прогреться, а прочность снизится.

Если изучить все важные параметры, то можно будет понять что такое режим сварки, и для чего он нужен. Правильные настройки и параметры позволяют выполнить качественное и прочное соединение, которое будет обладать высокой износостойкостью. Каждый показатель имеет огромное значение, особенно при изготовлении больших конструкций особого значения.

### **Влияние показателей режима сварки на размеры и форму шва.**

Разработка технологии сварки конкретных материалов начинается с выбора:

- способа сварки, который определяется характером производства (единичное, серийное, массовое), толщиной свариваемых деталей, длиной шва и его пространственным положением, свойствами сварного соединения;
- сварочных материалов, что зависит от химического состава свариваемого материала, способа сварки, требований к свойствам сварного соединения, подогрева, термообработки;

- конструктивных типов и элементов подготовки кромок, параметров режима сварки и техники сварки. Эти характеристики существенно влияют на размеры, форму, состав сварного шва и определяют свойства сварного соединения.

Поскольку размер и форма провара не зависят от типа шва, рассмотрим условие его формирования при дуговой сварке на примере стыкового соединения (рис. 12.1).

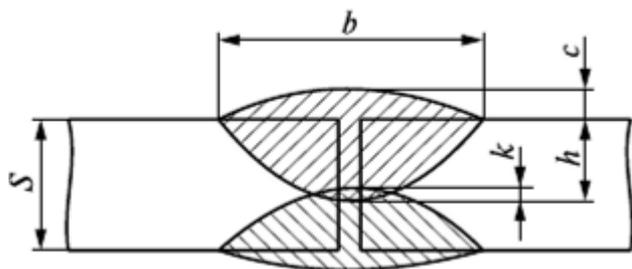


Рис. 12.1. Схема двустороннего стыкового сварного соединения

Сварной шов имеет размерные параметры ( $b$  — ширина;  $И$  — глубина провара;  $c$  — усиление;  $k$  — перекрытие) и безразмерные ( $u_{пр} = b / И$  — коэффициент формы провара и  $u_{ус} = b / c$  — коэффициент формы усиления). Среди размерных параметров только перекрытие  $k$  — относительно постоянная величина и равна 2—4 мм, а другие зависят от параметров режима сварки. Хотя безразмерные параметры также зависят от параметров режима сварки, для них установлены диапазоны их значений. Так, коэффициент формы провара  $u_{пр}$  должен быть в интервале от 2 до 5. При меньших значениях появляется угроза образования горячих трещин, при больших — нерационально используется тепловая мощность и требуется больше проходов.

Коэффициент формы усиления  $u_{ус}$  должен быть равным или больше 5. При меньших значениях в точке перехода от основного металла к сварному шву увеличивается коэффициент концентрации напряжений, что значительно снижает вибрационную прочность изделия, поэтому в некоторых случаях выдвигается требование удаления усиления, особенно для изделий, изготовленных из таких чувствительных к концентрации напряжений металлов, как алюминий и титан.

Рассмотрим, как влияют основные и дополнительные параметры режима дуговой сварки одним электродом на формирование шва, считая, что, во-первых, общие закономерности влияния пригодны и для случаев сварки несколькими электродами, лентой и т.п.; во-вторых, при изучении влияния одного из параметров остальные остаются неизменными; в-третьих, глубина провара не превышает 0,7—0,8 толщины основного металла.

*Род тока и его полярность* — при сварке на постоянном токе обратной полярности глубина провара на 40—50 % больше, чем на прямой полярности, вследствие выделения большей тепловой мощности на изделии. В то же время производительность процесса больше на 30-40 % при сварке на прямой полярности

вследствие того, что расплавляется больше электродного металла при меньшей температуре перегрева.

*Сила тока* - с ее увеличением глубина провара и погонная энергия увеличиваются, так как возрастает давление плазменного потока, который оттесняет жидкий металл из головной части ванны в хвостовую. На ширину шва два первых параметра существенно не влияют.

*Диаметр электрода* — с уменьшением диаметра электрода снижается подвижность столба дуги, увеличивается глубина провара и сокращается ширина шва.

*Напряжение на дуге* - при его повышении возрастают длина дуги и ее блуждание, в результате чего тепловая мощность рассеивается, ширина шва значительно увеличивается, а глубина провара уменьшается.

*Скорость сварки* — при малых значениях  $V_{CB} = 10—12$  м/ч глубина провара с увеличением скорости несколько возрастает, но дальнейший ее рост приводит к снижению этого показателя вследствие уменьшения погонной энергии. При скорости сварки до 25 м/ч ширина шва связана с глубиной провара обратной зависимостью, а при  $V_{CB} > 25$  м/ч с уменьшением глубины провара ширина шва также уменьшается. Значительное отклонение параметров режима от оптимальных приводит к неблагоприятному формированию шва, увеличенному разбрызгиванию и появлению дефектов в виде подрезов (рис. 12.2).

*Поперечное колебание конца электрода* приводит к рассеиванию тепловой мощности, уменьшению проплавления и увеличению ширины шва. Такие особенности имеет сварка расщепленной дугой и электродной лентой, которая используется при наплавочных работах.

*Вылет электрода* — при его увеличении ускоряется плавление электрода, растет производительность, но снижается сварочный ток, что ведет к уменьшению проплавления.

*Химический состав и строение частиц флюса* — с уменьшением объемной массы флюса (пемзовидный флюс) растет объем газофлюсового пузыря, дуга становится подвижной, появляется блуждание, тепловая мощность дуги рассеивается, глубина провара уменьшается, а ширина шва возрастает, что полезно при наплавке. У стекловидного флюса объемная масса почти вдвое больше, все процессы осуществляются противоположным образом, что полезно при сварке.

*Положение электрода* — при сварке углом назад жидкий металл сварочной ванны интенсивно вытесняется из-под дуги, вследствие чего провар больше, а ширина шва меньше, чем при вертикальном положении. При сварке углом вперед протекают обратные процессы.

*Положение изделия* — при сварке сверху вниз (на спуск) жидкий металл сварочной ванны все время подтекает под основание дуги, уменьшая проплавление и увеличивая

ширину шва; такое положение изделия используется при наплавке. Наоборот, при сварке снизу вверх (на подъем) дуга больше проникает в глубь металла, увеличивая проплавление и уменьшая ширину шва. Поэтому при механизированной сварке угол наклона изделия не должен превышать  $3\text{--}4^\circ$ , а при ручной  $8\text{--}10^\circ$ , иначе возможно появление дефектов.

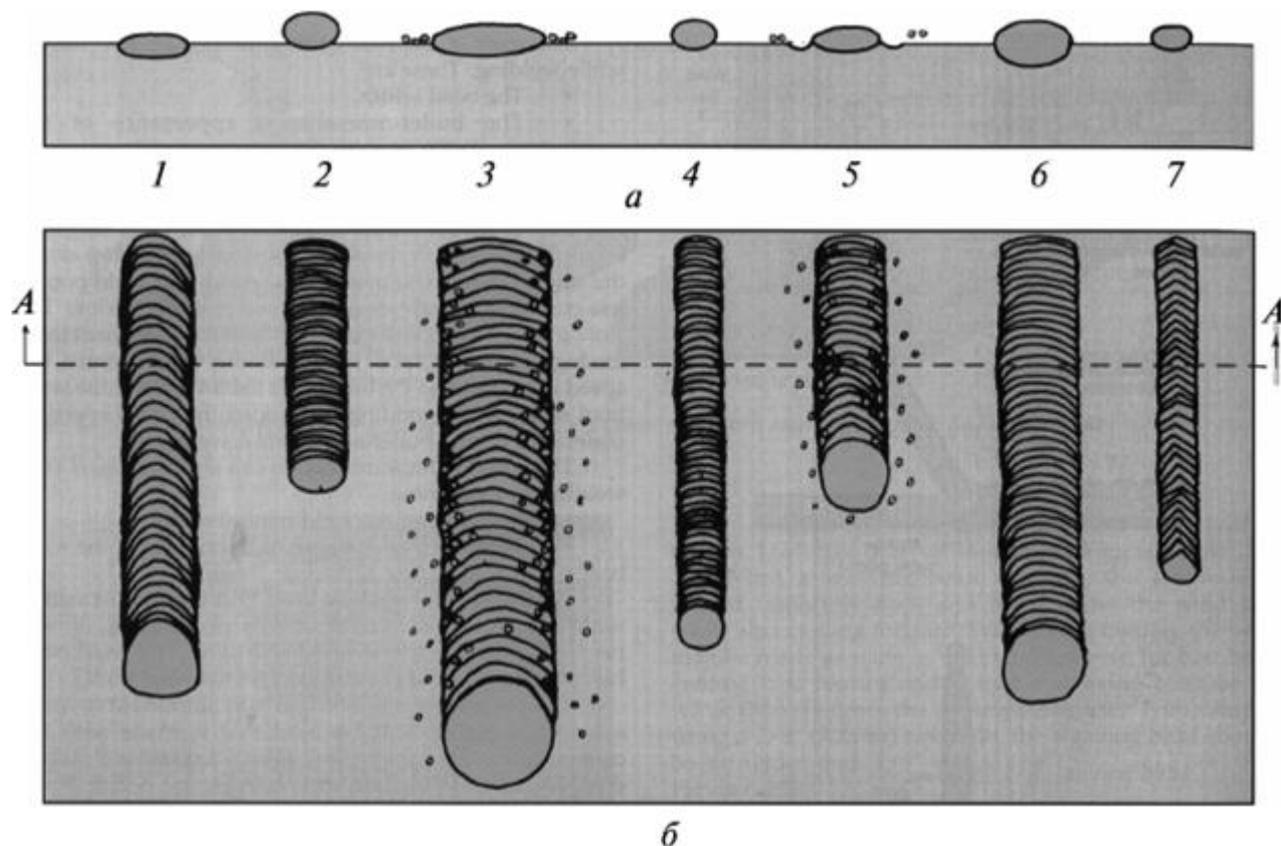


Рис. 12.2. Влияние параметров режима сварки на качество формирования шва при ручной дуговой сварке: *a* — поперечное сечение; *б* — вид сверху; 1 — оптимальные параметры; 2 — малый сварочный ток; 3 — большой сварочный ток; 4 — малое напряжение на дуге; 5 — большое напряжение на дуге способствует подрезу и разбрызгиванию; 6 — малая скорость сварки; 7 — большая скорость сварки

Это особенно важно учитывать при механизированной сварке или наплавке цилиндрических изделий небольшого диаметра, когда электрод надо смещать с зенита в сторону, противоположную вращению деталей.

*Начальная температура изделия* в пределах от  $-60$  до  $+80$  °С не оказывает влияния на формирование шва. В случае подогрева до  $100\text{--}400$  °С несколько возрастают глубина провара и ширина шва, что связано с увеличением погонной энергии. Поскольку электрические параметры режима сварки, рекомендованные в справочниках, приведены для случая сварки в обычных условиях, при использовании подогрева их надо корректировать.

Параметры режима сварки существенно влияют на состав шва. Только при сварке неплавящимся электродом без присадки сварной шов состоит из расплавленного

основного металла, во всех остальных случаях он по своему составу не соответствует ни основному, ни присадочному металлу, а является их смесью.

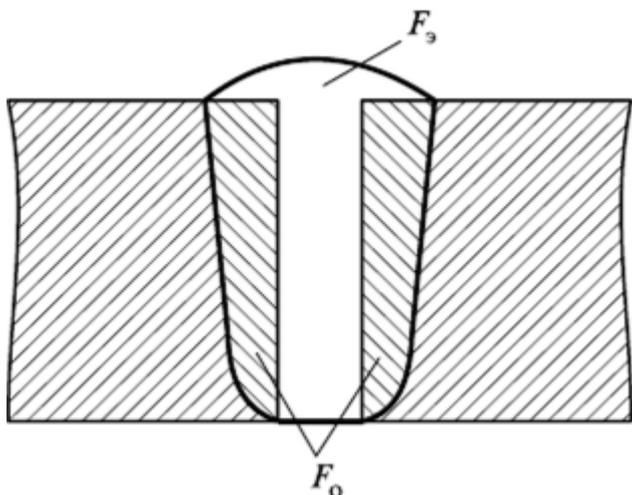


Рис. 12.3. Поперечное сечение сварного шва

Площадь поперечного сечения сварного шва (рис. 12.3) определяется как

$$F = F_0 + F_3,$$

где  $F_0$ ,  $F_3$  — площади, которые отвечают соответственно расплавленному основному металлу и электродному металлу.

Сварной шов состоит из частей этих двух металлов, а доли участия того и другого металла вычисляются по формуле:

$$\gamma_0 = F_0 / F_0 + F_3,$$

где  $y_0$  — доля основного металла;  $y_3 = 1 - y_0$ ;  $y_3$  — доля электродного металла. Полную площадь шва можно определить на макрошлифе с помощью планиметра. Для механизированной сварки площадь

$$F_3 = F_{пр} (V_{пэ} / V_{св}),$$

где  $F_{пр}$  — площадь сечения сварочной проволоки;  $V_{пэ}$  — скорость подачи сварочной проволоки;  $V_{св}$  — скорость сварки.

Таким образом, все параметры режима, которые увеличивают проплавление, способствуют повышению доли основного металла в сварном шве и наоборот. При сварке ее надо повышать, а при наплавке — уменьшать. Параметры режима подбирают по справочникам, и перед внедрением полезно предварительно их проверить на образцах и в случае необходимости подкорректировать.

## 29. Сварка стыковых соединений в различных пространственных положениях

**Выполнение стыковых соединений по сечению.** Сварку стыковых соединений выполняют с одной или двух сторон. Для борьбы с прожогами применяют остающиеся или съёмные подкладки. Остающиеся подкладки изготавливают из стальных полос толщиной 2-4 мм при ширине 30-40 мм. Съёмные подкладки изготавливают из материала, который во время сварки не плавится, т. е. обладает хорошей теплопроводностью и теплоемкостью; этим требованиям отвечает медь, а также керамика или графит. Съёмные подкладки в процессе сварки иногда охлаждают проточной водой.

Сварка на подкладках имеет следующие преимущества: сварщик работает более уверенно, не боится прожогов и натеков и может увеличить сварочный ток на 20-30%; исключается необходимость подварки корня шва с обратной стороны.

При сварке стыковых соединений с разделкой кромок в зависимости от толщины свариваемых листов (от 3 до 26 мм), положения шва в пространстве, диаметра электрода сварку выполняют в два и более слоев. Выполнение шва начинают с наложения первого слоя, состоящего из одного валика. Дугу возбуждают на скосе кромки, а затем, переместив дугу на середину соединения, проваривают края скоса кромок (корень шва). На скосах кромок движение электрода замедляют, чтобы улучшить их провар, а при переходе конца электрода с одной кромки на другую скорость его движения увеличивают для того, чтобы избежать прожога притуплённых кромок.

При сварке первого слоя применяют электроды диаметром 2, 3 или 4 мм. Электроды большего диаметра не обеспечивают надежный провар корня шва. Перед наложением следующего слоя поверхность предыдущего зачищают от шлака и брызг. Образование шва заканчивают наплавкой валика высотой 2-3 мм над поверхностью основного металла. После заполнения всего сечения шва со стороны разделки кромок с приданием ему требуемого усиления изделие поворачивают, а затем пневматическим зубилом или воздушно-дуговой строжкой вырубляют или выплавляют в корне шва канавку шириной 8-10 мм и глубиной 3-4 мм, которую заваривают за один проход швом, придавая ему небольшую выпуклость. Конкретно стыковые соединения по сечению могут выполняться за один или несколько слоев и за несколько проходов и слоев - многопроходная многослойная сварка (рис. 34). При выполнении многослойных и многослойных многопроходных швов корневой слой выполняется так, как это показано на рис. 35. В этом случае сварочную дугу вначале зажигают либо на особой пластине, либо на одной из свариваемых кромок. Затем быстро электродом проходят через зазор между кромками, замедляя движение электрода на свариваемых кромках. При этом внимательно следят за равномерным плавлением кромок.

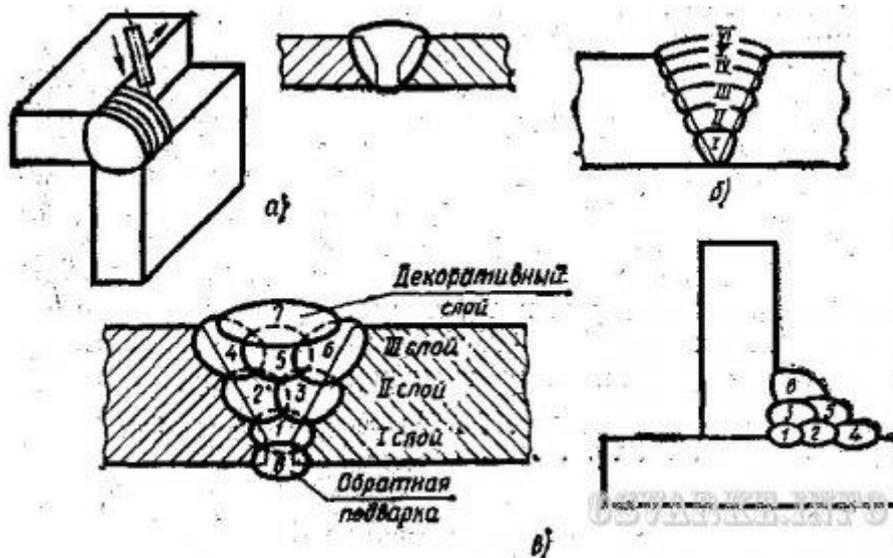


Рис. 34. Схема заполнения швов по сечению:

а - однопроводная сварка, б - многослойная, в - многослойная многопроводная: I-VI  
слои шва, 1-8 - очередность наложения валиков

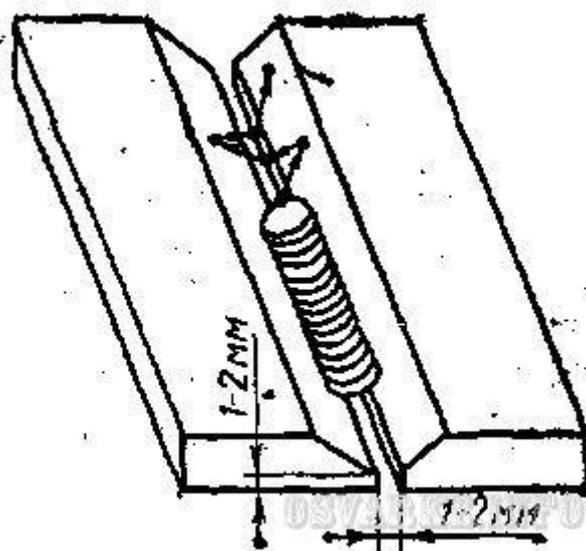


Рис. 35. Выполнение первого слоя при сварке стыкового соединения, имеющего разделку кромок

**Выполнение стыковых швов в нижнем положении.** Для исключения прожога свариваемых кромок в корне шва применяют различные подкладки и подушки. Сварку можно выполнять вертикально расположенным электродом, углом назад и углом вперед. Техника сварки стыкового соединения в нижнем положении представлена на рис. 36.

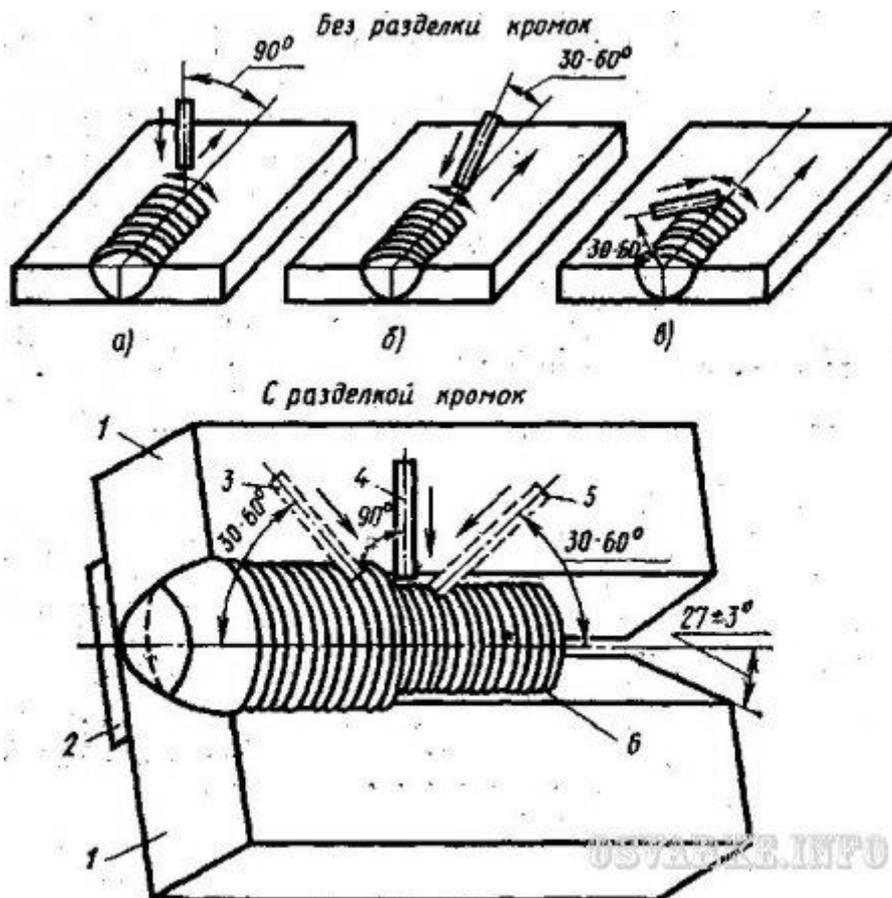


Рис. 36. Техника сварки стыкового соединения:

а - вертикально расположенным электродом, б - углом назад, в - углом вперед; 1 - свариваемые пластины, 2 - подкладка, 3 - положение электрода углом вперед, 4 - вертикально расположенным электродом, 5 - положение электрода углом назад, 6 - корневой шов

**Выполнение стыковых швов в вертикальном положении.** Вертикальные швы выполняют двумя способами: снизу вверх и сверху вниз. При сварке снизу вверх (рис. 37) дугу возбуждают в нижней точке соединения, и после образования ванночки расплавленного металла электрод отводят немного вверх и в сторону. Дуга при этом должна быть направлена на основной металл. Расплавленный металл при отводе электрода вверх затвердевает, образуя «полочку», на которую наплавляют и которая удерживает последующие капли металла при движении электрода вверх. Электрод рекомендуется наклонять вверх под углом 20-25° к горизонту.

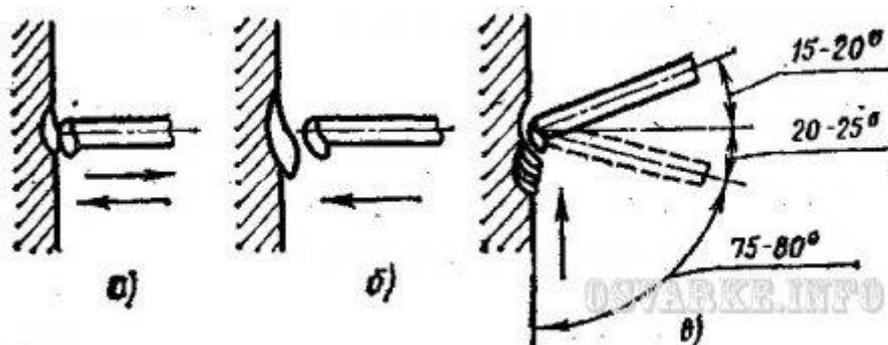


Рис. 37. Схема техники выполнения наплавки валиков и вертикальных швов на

подъем:

а - зажигание дуги, б - образование сварочной ванны, в - движение электрода вверх

При сварке сверху вниз (рис. 38) дугу возбуждают в верхней точке шва и придают электроду сначала перпендикулярное, а после образования кратера - наклонное положение. Метод сварки сверху вниз рекомендуется применять в основном лишь для соединения тонкого металла и выполнения первых слоев при наличии разделки кромок.

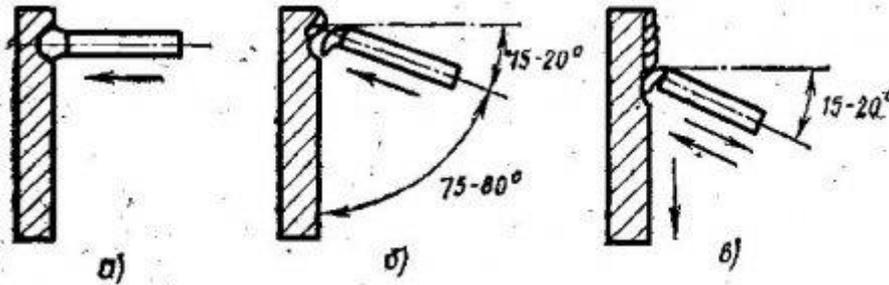


Рис. 38. Схема техники сварки (наплавки) на спуск:

а - зажигание дуги, б - образование сварочной ванны, в - движение электрода вниз

Вертикальные швы выполнять значительно труднее, чем нижние, так как в первом случае расплавленный металл под действием силы тяжести стремится вытечь из сварочной ванны. Вертикальные швы следует выполнять током на 10-15% меньшим, чем при выполнении швов в нижнем положении, и короткой дугой. Используемые для наложения вертикальных швов электроды должны иметь «короткие» шлаки. При выполнении вертикальных швов, как и при выполнении швов в нижнем положении, получают узкие и широкие валики. Движение электрода при наплавке узких валиков в вертикальном положении приводится на рис. 39, а широких - на рис. 40.

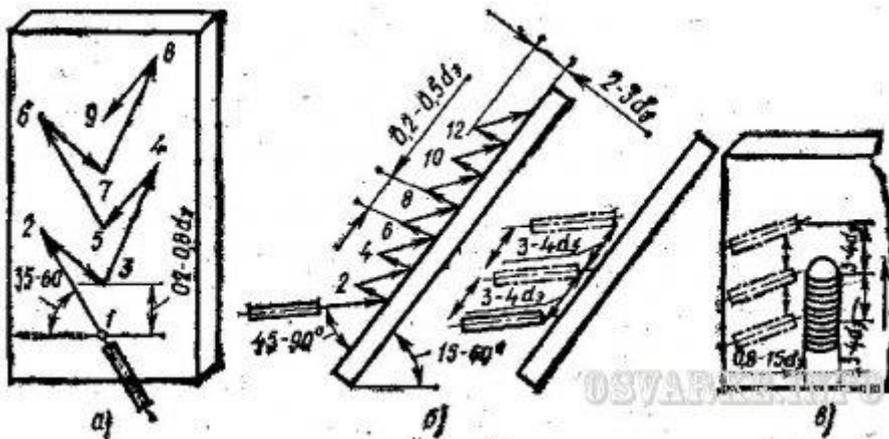


Рис. 39. Движение электрода при наплавке узких валиков при наклонном положении:

а - по траектории острого угла, б - лесенкой, чередуя приближение электрода к поверхности пластины с последующим отводом его, в - перемещение электрода на 3-4 диаметра вверх вдоль пластины и последующее возвращение его к сварочной ванне (цифрами отмечены точки изменения направления электрода)

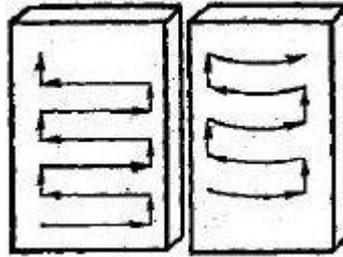


Рис. 40. Схема движения электрода при выполнении широких валиков при сварке стыковых соединений в вертикальном положении

При сварке стыковых горизонтальных соединений подготовка необходима только для верхней кромки. Дугу возбуждают вначале на нижней горизонтальной кромке, а затем перемещают на скошенную кромку. Горизонтальные швы выполняют вертикально расположенным электродом, углом назад и углом вперед. Движение электрода можно осуществлять на себя и от себя. Последовательность наложения слоев 1-6 приведена на рис. 41. Угол наклона электрода к вертикальной плоскости свариваемого изделия должен составлять  $75-80^\circ$ .

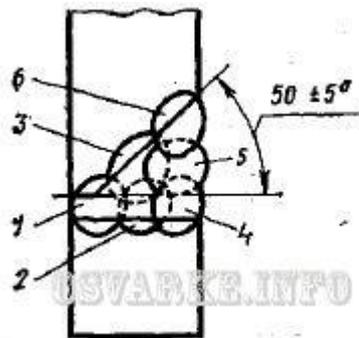


Рис.41. Последовательность наложения слоев при выполнении горизонтального шва (1-6 - очередность выполнения валиков)

**Выполнение стыковых швов в потолочном положении.** При выполнении таких швов необходимо накладывать узкие и широкие валики. Узкие и широкие (в основном это предпоследние) валики укладываются в разделку кромок. Декоративные валики, укладываемые на поверхности металла, служат для усиления шва. Узкие валики выполняются по схемам, приведенным на рис. 42. Сущность наложения валиков в потолочном положении «лесенкой» состоит в том, что электрод располагают к плоскости под углом  $90-130^\circ$ . Затем из точки 1 переводят его к изделию и зажигают, дугу в точке 2. После образования маленькой порции расплавленного металла электрод на расстоянии 5-12 мм от потолочной плоскости отводят в точку 3. Затем его возвращают в точку 4 и т. д. При возвращении электрода в точки 2, 4, 6, 8, 10, 12 и т. д. расплавленный металл накладывают на остывшую порцию металла на длину  $1/2$  или  $1/3$ .

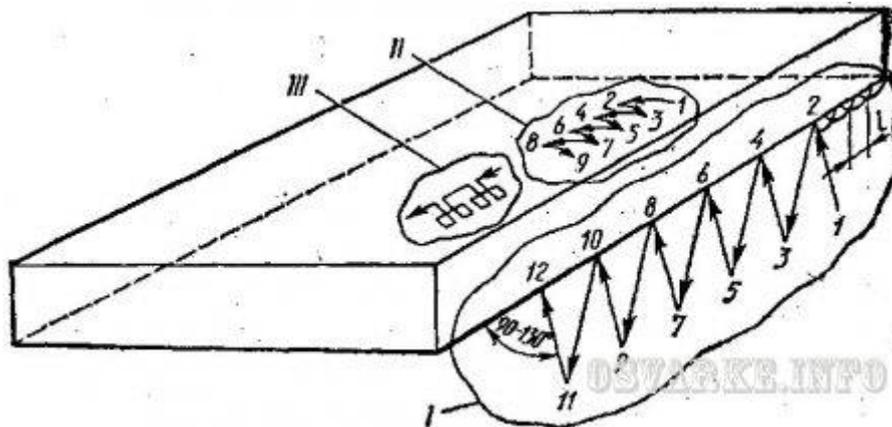


Рис. 42. Схема наложения узких валиков в потолочном положении: I - лесенкой, II - полумесяцем, III - обратнопоступательно, 1 - диаметр закристаллизовавшейся капли металла

Сущность сварки полумесяцем состоит в том, что электрод располагают, как и в первом случае, под углом  $90-130^\circ$  к плоскости и, манипулируя электродом по схеме полумесяца, непрерывно заходят концом электрода на закристаллизовавшуюся часть металла и наплавливают узкий валик.

Обратнопоступательный способ наплавки узких валиков в потолочном положении состоит в том, что концом электрода электросварщик непрерывно возвращается назад на кристаллизирующуюся часть металла, но постоянно удлиняет валик по протяженности. При наплавке широких валиков в различных вариациях используют или сочетают вместе все три приведенных выше варианта при наплавке узких валиков. Потолочные швы являются наиболее трудными для выполнения, так как расплавленный металл всегда стремится вытечь из сварочной ванны вниз. Незастывший металл удерживается в сварочной ванне силами поверхностного натяжения и давлением дуги. Объем сварочной ванны должен быть минимальным, поэтому сварка возможна только при короткой дуге. Ток должен быть на 15-20% меньше, чем при сварке в нижнем положении. Потолочную сварку выполняют сварщики-потолочники, прошедшие специальную подготовку.

### 30. Сварка тавровых, угловых и нахлесточных соединений в различных пространственных положениях

Сварка угловых, тавровых и нахлесточных соединений бывает однослойной и многослойной (однослойная применяется для швов с катетом до 10 мм). Угловые, тавровые и нахлесточные соединения можно сваривать и без колебаний электрода ниточным и уширенным валиками. Колебания концом электрода производят тогда, когда необходимо наложить шов с большим катетом. При выполнении сварных соединений возможно образование непровара в одной из сторон, а также непровар угла и подрез верхней и нижней кромок. Лучше всего сварку угловых, тавровых и нахлесточных соединений вести в положении «в лодочку» (рис. 43, а). При сварке наклонным электродом (рис. 43, б) или с оплавлением верхней кромки (рис. 43, в) процесс сварки целесообразнее вести электродом, расположенным углом назад. Схема

заполнения швов по сечению представлена на рис. 44.

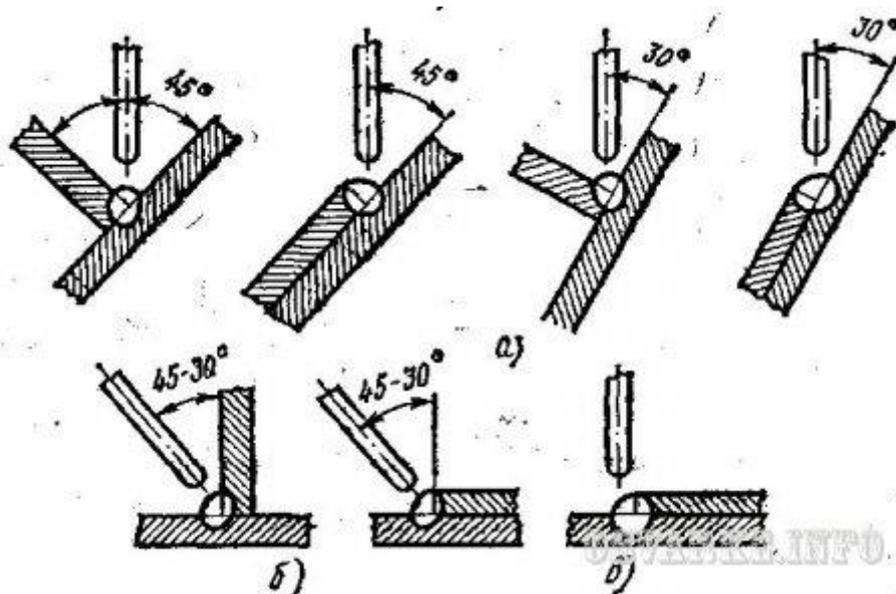


Рис. 43. Способы выполнения угловых, тавровых и нахлесточных соединений: а - сварка в симметричную и несимметричную «лодочку», б - сварка наклонным электродом, в - сварка с оплавлением кромки

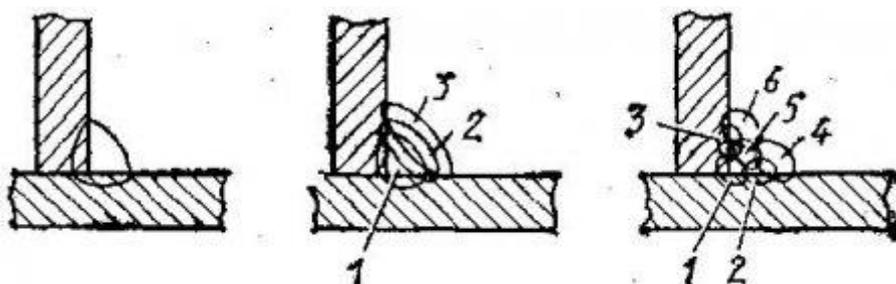


Рис. 44. Схема заполнения угловых швов по сечению (1-6 - очередность наложения валиков)

Выполнение угловых швов, как и стыковых, начинается с наложения узкого валика, если шов выполняется за несколько слоев. Узкие валики выполняются по схемам, представленным на рис. 45. Способ наложения валика «углом» заключается в том, что электросварщик то поднимает конец электрода вверх, то отпускает вниз, непрерывно наплавливая металл на свариваемые кромки и равномерно перенося вверх движения электродом.

Способ наложения валика «полумесяцем» и по «спирали» состоит в том, что электросварщик вначале как бы наплавляет полочку на свариваемые кромки, а затем мелкими порциями на эту полочку наплавляет металл, манипулируя электродом все выше и составляя за собой образованный сварной шов.

Способ сварки «елочкой» заключается в следующем: электросварщик вначале конец электрода поднимает вверх в правую сторону, а затем опускает его вниз. В это время капля расплавленного металла застывает в центре между кромками. Затем конец электрода поднимается в левую сторону и снова опускается вниз, оставляя новую порцию расплавленного металла в центре между кромками, и т. д. В результате этого

образуется сварной шов.

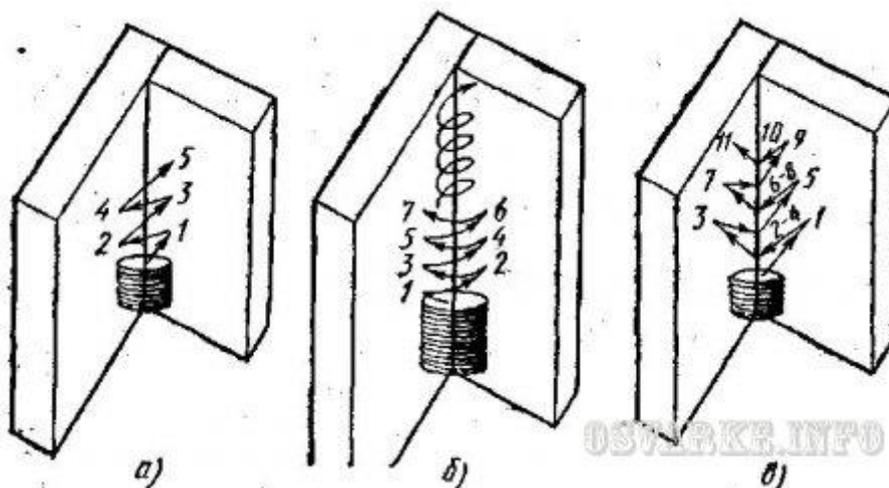


Рис. 45. Схема выполнения узких угловых швов в вертикальном положении:  
а - углом, б - по спирали или полумесяцем, в - елочкой; 1-11 - очередность колебаний электродом

Широкие валики можно выполнять таким же способом.

Узкие угловые швы в потолочном положении следует выполнять так, как показано на рис. 42. Широкие швы можно выполнять, сочетая все три движения вместе, что будет способствовать плавной кристаллизации расплавленного металла, и декоративный валик при этом будет образовываться правильной геометрической формы.

### 31. Выполнение вертикальных, горизонтальных и потолочных швов.

#### Сварка в вертикальном положении.

Расплавленный металл под действием силы тяжести стремится стекать вниз, что затрудняет формирование шва. Поэтому вертикальные швы выполняют очень короткой дугой, при которой расстояние между каплями на электроде и жидким металлом в сварочной ванне настолько мало, что между ними возникает взаимное притяжение. Благодаря этому капли электродного металла сливаются со сварочной ванной при малейшем касании их между собой.

Объем расплавленного металла уменьшают снижением сварочного тока на 10-15% по сравнению с нижним положением, а диаметр электрода ограничивают до 5 мм.

Вертикальные швы выполняют как снизу вверх, так и сверху вниз.

В первом случае (рис. 30, а) дуга возбуждается в самой нижней точке вертикально расположенных пластин, для этого электрод устанавливают перпендикулярно поверхности свариваемого изделия (положение 1). Затем электрод немного наклоняют вниз для того, чтобы слой давления газов дуги предшествовал стеканию металла сварочной ванны (положение 2). При этом застывший металл шва образует подобие полочки, на которой удерживаются последующие капли металла.

Сварку сверху вниз применяют при малой толщине металла. В этом случае подтекающий под дугу жидкий металл уменьшает возможность образования сквозных прожогов.

В начале сварки (рис. 30, б) дуга возбуждается в самой верхней точке пластин при

горизонтальном расположении электрода. После образования ванны жидкого металла электрод наклоняют на  $15-20^\circ$  с таким расчетом, чтобы дуга была направлена на основной и наплавленный металл. Для улучшения условий формирования шва амплитуда колебательных движений электрода должна быть небольшой, а дуга – очень короткой, чтобы капли расплавленного металла удерживались от падения концом электрода.

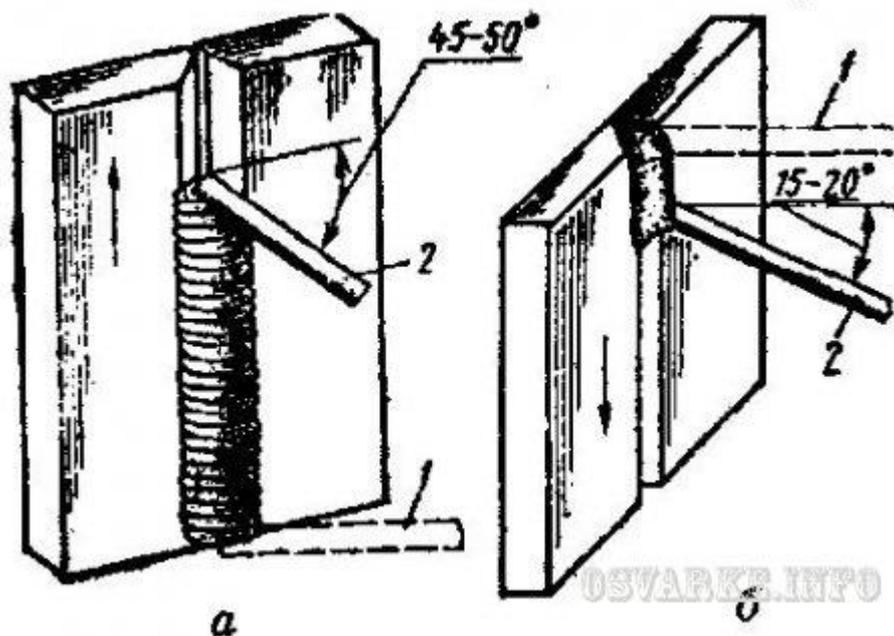


Рис. 30. Выполнение сварных вертикальных швов

### Сварка горизонтальных швов.

Горизонтальные швы на вертикальной плоскости выполнять труднее, чем вертикальные. Для предупреждения отека жидкого металла скос кромок обычно делается на одном верхнем листе (рис. 31, а). Дуга в этом случае возбуждается на нижней горизонтальной кромке (положение 1), а затем переносится на наклонный скос (положение 2), поднимая вверх стекающую каплю металла. Колебательные движения электродом совершают по спирали. Выполнять горизонтальными сварными швами нахлесточные соединения легче, чем стыковые, так как горизонтальная кромка нижнего листа (рис. 39, б) способствует удержанию расплавленного металла от стекания вниз. При выполнении горизонтальных швов с двумя скосами кромок устанавливают порядок их наложения (1-4 рис. 39, в), который в процессе проваривания верхней кромки позволяет избежать потолочного положения кратера с расплавленным металлом.

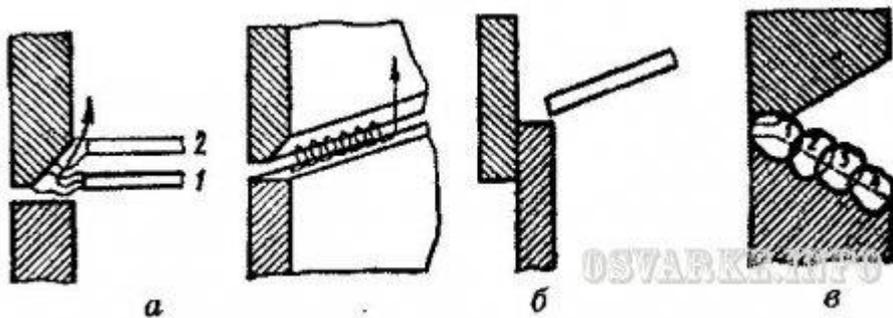


Рис. 31. Выполнение сварных горизонтальных швов:  
 а - стыковое соединение со скосом одной кромки; б - нахлесточное соединение; в –  
 стыковое соединение со скосом двух кромок

### Сварка в потолочном положении.

Сварка в потолочном положении (рис. 32) наиболее трудна, так как направление силы тяжести расплавленного металла противоположно направлению его переноса. Это требует максимального уменьшения объема расплавленного металла, что достигается ограничением диаметра электрода до 4 мм и снижением сварочного тока на 15-20% по сравнению с нижним положением.

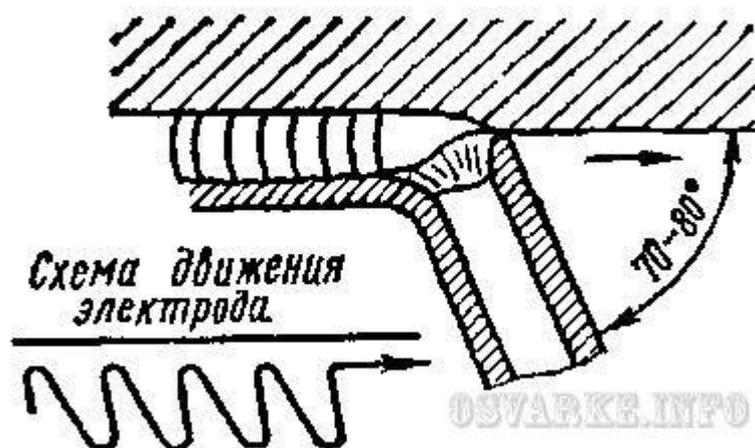


Рис. 32. Сварка потолочных швов

Для сварки в потолочном положении подходят электроды, дающие небольшой шлак. Хороший провар корня шва при потолочной сварке обеспечивается применением электродов диаметром не более 3 мм.

### 32. Основы техники наплавки валиков.

Основными особенностями наплавки являются: незначительное перемешивание наплавляемого слоя с основным металлом (для обеспечения заданного химического состава слоя и предотвращения трещин); малая зона термического влияния; минимальные деформации и напряжения. Все это обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления путем регулирования параметров

режима, а также использования различных технологических приемов.

Основными элементами режима дуговой наплавки являются: сила сварочного тока, напряжение и скорость перемещения дуги, вылет и число электродов, шаг наплавки, а также смещение электрода с зенита при наплавке тел вращения.

Тип электрода выбирают в зависимости от сплава металла, который необходимо наплавлять. Диаметр электрода зависит от толщины и формы изделия, пространственного положения наплавляемой поверхности.

Для получения минимальной глубины проплавления основного металла электрод наклоняют в сторону, обратную направлению наплавки.

Наплавку обычно ведут постоянным током, обеспечивающим высокую стабильность процесса. Сила сварочного тока при наплавке зависит от скорости подачи электрода. С увеличением скорости подачи возрастает сила сварочного тока, а следовательно, и производительность наплавки. Однако с возрастанием силы сварочного тока увеличивается глубина проплавления и доля основного металла в наплавленном. Кроме того, образуются узкие и высокие валики, ухудшается формирование наплавленного шва. Поэтому сила сварочного тока ограничивается условиями качества наплавки.

При увеличении диаметра электрода уменьшается глубина проплавления и увеличивается ширина наплавленного валика.

Напряжение дуги определяет форму наплавленного валика; при его повышении увеличивается ширина и уменьшается высота валика, возрастает длина дуги и усиливается окисляемость легирующих примесей, особенно углерода.

Для наплавки используют электроды диаметром 3- 6 мм. При толщине наплавленного слоя менее 1,5 мм применяют электроды диаметром 3 мм, при большей - диаметром 4-6 мм. Для обеспечения минимального проплавления основного металла при достаточной устойчивости дуги плотность тока должна составлять 11-12 А/мм<sup>2</sup>.

Наплавка должна производиться без перерыва горения дуги, смена электрода должна быть быстрой, а после повторного возбуждения дуги металл кратера нужно хорошо переварить и только после этого продолжать наплавку.

При наплавке каждый последующий валик должен перекрывать предыдущий валик на величину, равную примерно половине ширины шва (рис. 15.2). При большом шаге наплавки доля основного металла в шве велика и необходимая твердость наплавленного слоя не обеспечивается. С уменьшением же шага наплавки уменьшается переход примесей из основного металла в шов и химический состав наплавленного металла становится близким к составу

электродной проволоки.

Техника наплавки предусматривает различные приемы ведения работ при наплавке тел вращения, плоских поверхностей и деталей сложной формы (рис. 15.3). Цель одна - получение качественного наплавленного слоя заданных свойств и минимальная деформация изделия.

При наплавке круглых деталей электрод смещают относительно вертикальной оси, проходящей через центр вращения, в сторону, противоположную вращению детали. Смещением электрода предотвращают стекание на-

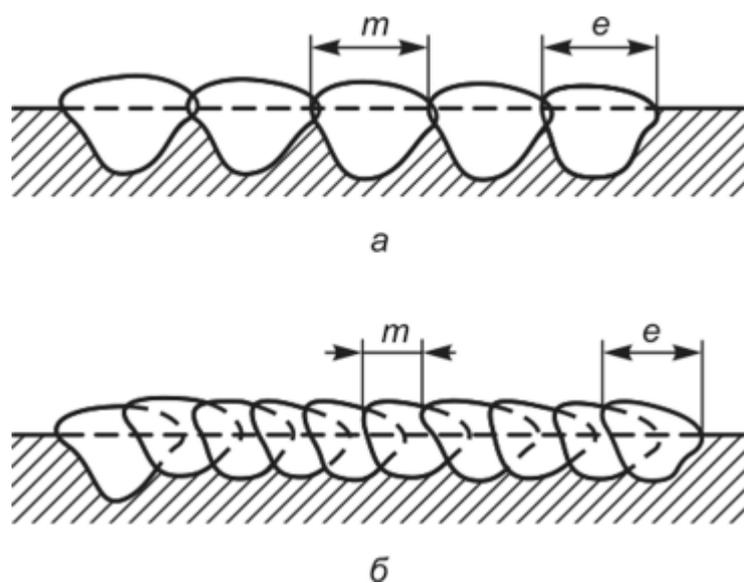
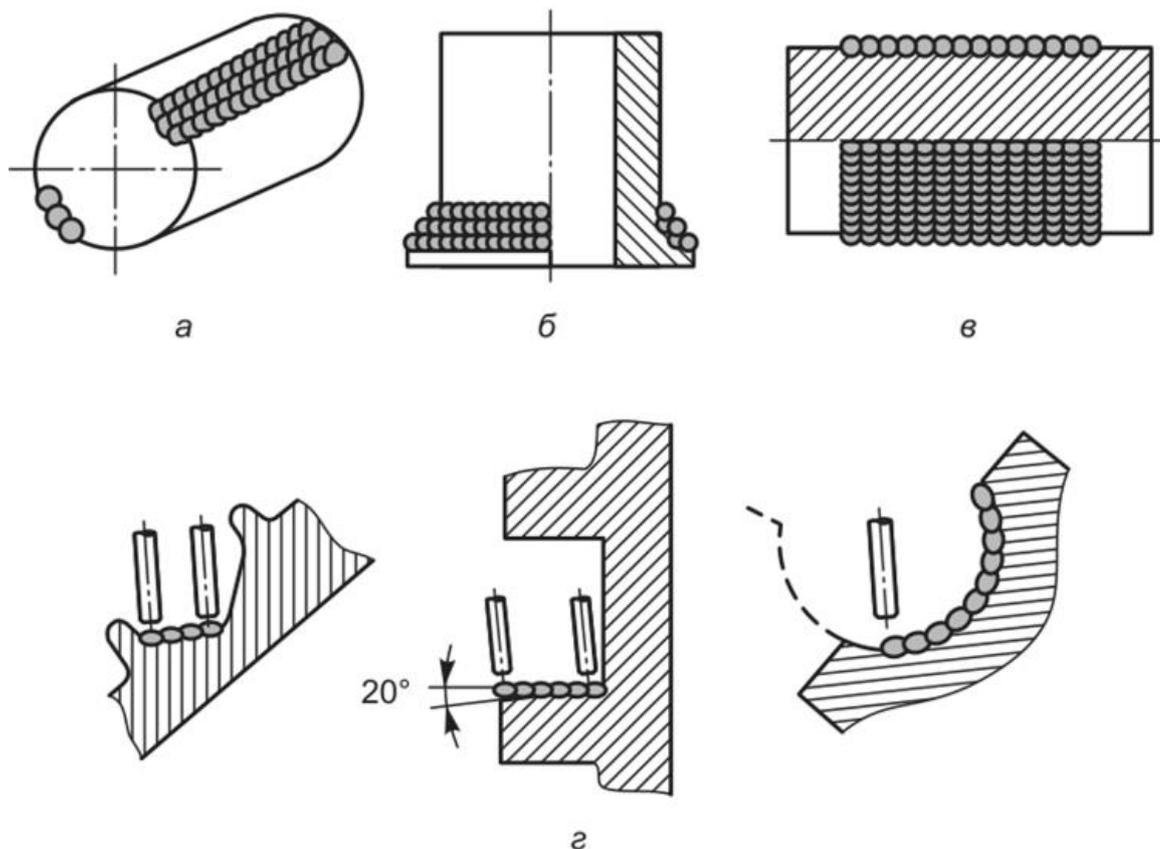


Рис. 15.2. Схема наплавки валиков при разной величине шага наплавки:

*а* - большой шаг; *б* - малый шаг; *m* - шаг наплавки, *e* - ширина шва плавляемого металла и шлака. При наплавке тел вращения это достигается ведением непрерывного процесса по винтовой линии с перекрытием последующим валиком предыдущего. При наплавке по винтовой линии обеспечиваются непрерывность процесса, более высокое качество наплавки и меньшая деформация наплавляемой детали.

Наплавку плоских деталей и поверхностей сложной формы производят с минимальным проплавлением основного металла.

Предварительный подогрев обрабатываемой детали до 200-250 °С уменьшает склонность наплавленного металла к образованию трещин. Для предотвращения образования трещин при наплавке и охлаждении обрабатываемые детали целесообразно подогреть перед наплавкой до 300-600 °С и сохранять такую температуру до завершения наплавки. Затем наплавленные детали следует медленно охладить.



*Рис. 15.3. Схемы выполнения наплавки:*

*а* - наплавка вала по образующей; *б* - наплавка вала по спирали горизонтальным швом на вертикальной плоскости; *в* - наплавка вращающегося вала по спирали горизонтальным швом в нижнем положении; *г* - наплавка ручьев прокатных валков разных типов

### **Предотвращение возникновения напряжений**

В процессе наплавки в изделии появляются значительные внутренние напряжения, которые приводят к его короблению, а иногда и к разрушению. К мерам, принимаемым

для предотвращения возникновения напряжений или снятия их с целью уменьшения

деформации изделия, относятся следующие: предварительный подогрев до 200...400 °С;

ведение наплавки с погружением изделия в воду без смачивания наплавляемой поверхности; ведение процесса при жестком закреплении изделия в приспособлении;

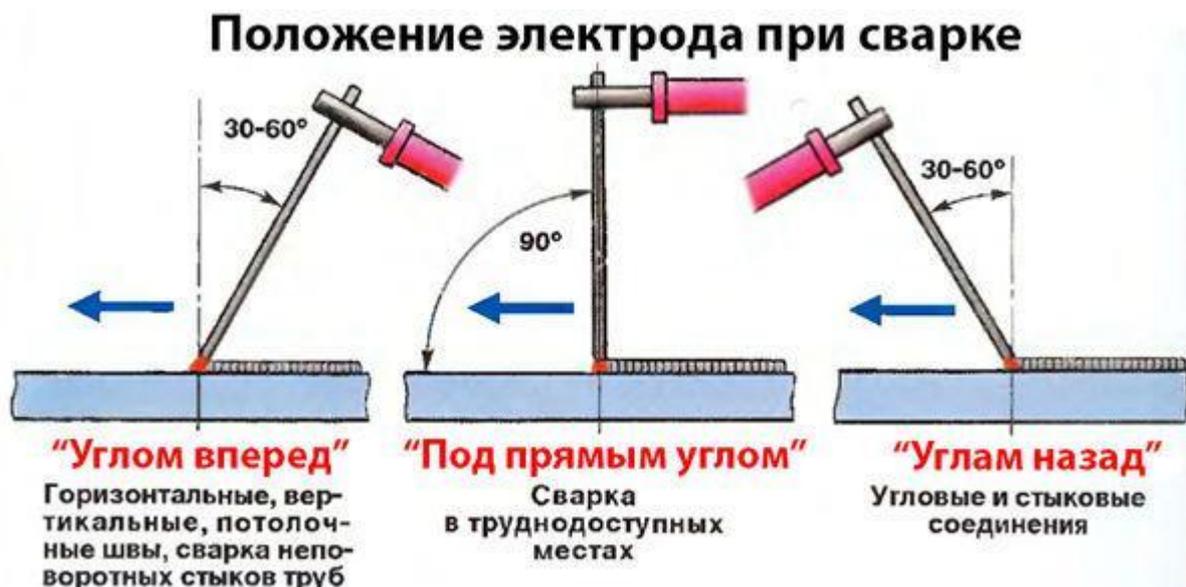
предварительный изгиб изделия в направлении, обратном ожидаемому изгибу; высокотемпературный отпуск после наплавки с нагревом до 650...680 °С.

После наплавки обычно производят термообработку. Цель термической обработки деталей после наплавки - устранение внутренних напряжений и получение металла с определенными структурой и свойствами. Основными

видами термической обработки являются отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

### 33. Положение электрода

Когда осуществляется сварка, угол, под которым находится электрод, имеет большое значение. Правильно выбранный угол наклона электрода при сварке позволит контролировать весь процесс и вовремя вносить коррективы. Под каким углом держать электрод при сварке не указывается в чертеже, а выбирается самим сварщиком.



Имеются следующие основные виды положения электрода:

**Сварка углом вперед.** Этот способ выбирают при необходимости сварки в труднодоступных местах. Он имеет существенные недостатки. Образующийся шлак в жидком состоянии находится все время впереди, что мешает процессу сварки. Дуга может погаснуть совсем или начнет "блуждать". Не исключено появление пропущенных участков, что сильно снижает качество шва.

**Сварка углом назад.** Находит применение при сварке стыков и в угловом варианте. Угол наклона электрода так же, как и в первом способе, находится в пределах 30-60°. Сварочная дуга, напирая на жидкий шлак, вытесняет его из ванны и расплавленный металл лишается его прикрытия. На оголенном участке начинается быстрая кристаллизация.

**Под прямым углом.** Расположение электрода перпендикулярно шву оставляет возможность контроля над жидким шлаком, и заставляя его перемещаться вслед за сварочной ванной. Это оказывает благоприятное влияние на качество шва. Если будет замечено, что шлак оказался перед электродом, то надо на небольшое время перейти на способ "назад углом". Это позволит отбросить шлак за электрод.

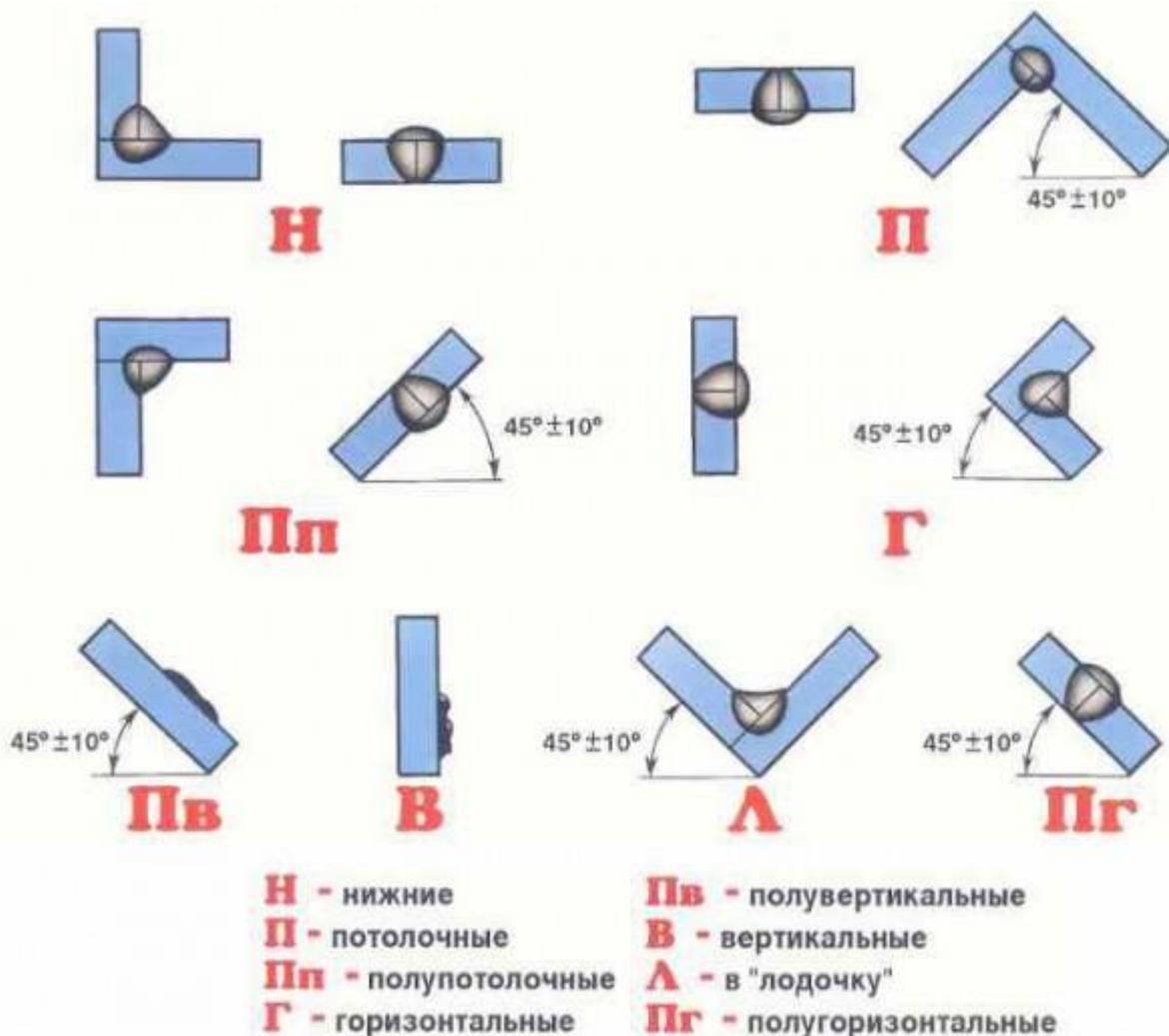
В зависимости от пространственного положения существуют разные условия для правильного формирования сварного шва, требования к его внешнему виду,

наличию дефектов. Существенное влияние положение при сварочном процессе оказывает на его производительность, что учитывается при составлении технологической карты на узел изделия, где имеется сварное соединение.

Положения при сварке								
Вид детали	Н1 Нижнее	Н2 Нижнее тавровых соединений	Г Горизонтальное	В1 Вертикальное (на подъем)	В2 Вертикальное (на спуск)	П1 Потолочное	П2 Потолочное тавровых соединений	Н45 Переменное при наклонном расположении
Л Лист								-
Т Труба		-				-	-	
Л+Т Лист + труба			-			-		

### Обозначение

Имеющаяся классификация сварных швов содержит обозначение положение при сварке. Каждому виду присваиваются цифры и буквы, которые четко указывают на разновидность шва. Эти обозначения указываются в чертежах на изделия, где присутствует сварное соединение. Сварщик при обучении своей профессии обязан изучить обозначения положений шва при сварке и доказать свои знания на экзамене. Это даст ему возможность без труда "читать" чертеж на изделие и делать практические выводы.

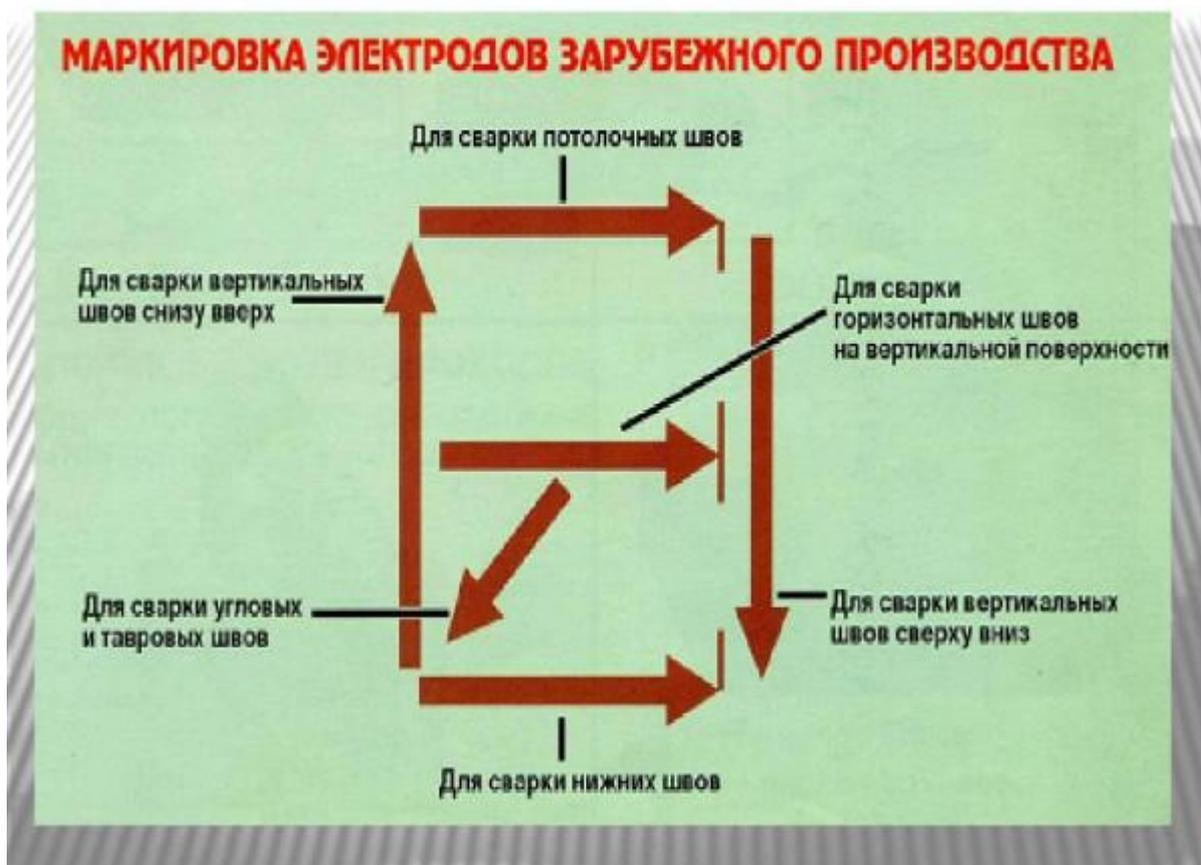


Принцип присваивания буквенного обозначения достаточно прост. Используется первая буква слова, обозначающего положение шва в пространстве. Существует не так уж много видов положения шва в пространстве, поэтому буква "В" будет однозначно восприниматься как вертикальный, а буква "П" как потолочный. Имеется более подробная градация, где основная буква пишется мелким шрифтом, а перед ней ставится большая буква "П", обозначающая "полу".

Обозначения могут иметь более подробный характер, когда в них указывается вид соединения или направление сварки. Так, например, П2 означает, что соединение тавровое потолочное, а положение при сварке В1 указывает на то, что при вертикальном положении шва сварка ведется способом снизу вверх. Положения при сварке Н1 и Н2 оба свидетельствуют о нижнем положении. Но дальше имеются различия.

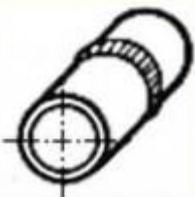
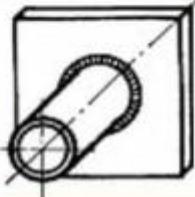
Положение при сварке Н1 означает, что положение нижнее, а дальше два варианта: первый - стыковое, второй - "в лодочку". Н2 - нижнее положение при тавровом соединении. Н45 положение при сварке является переменным. Такое положение используется для сварки труб, когда их оси имеют наклонное положение на 45 градусов. Сварка при этом осуществляется без их поворота.

Когда приобретаются электроды, выпущенные иностранными производителями, положения швов, для которых они предназначены, указаны стрелками, в чем не трудно разобраться.



Обозначения имеются также в зависимости от свариваемых деталей.

### Виды свариваемых деталей

Л	Т	Л+Т	С+С
Лист	Труба	Лист + труба	Стержень + Стержень
			

## 34. Колебательные движения электрода.

ЭЛЕКТРОД ПЕРЕМЕЩАЮТ В ТРЕХ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ:



**1. ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ** - вдоль оси электрода. Обеспечивает подачу электрода, постоянство длины дуги и скорости плавления

**2. ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ** - вдоль оси шва. Обеспечивает необходимую скорость сварки и качественное формирование шва

**3. КОЛЕБАТЕЛЬНЫЕ** - поперек оси шва для прогрева кромок. Этими движениями за один проход получают шов шириной до 4-х диаметров электрода, а без них - 1,5 диаметра. Поперечные движения можно исключить при сварке тонких листов или при прохождении первого (корневого) шва многослойной сварки.

Для получения валика нужной ширины производят поперечные колебательные движения электрода. Если перемещать электрод только вдоль оси шва без поперечных колебательных движений, то ширина валика определяется лишь сварочным током и скоростью сварки и составляет от 0,8 до 1,5 диаметра электрода. Такие узкие (ниточные) валики применяют при сварке тонких листов, при наложении первого (корневого) слоя многослойного шва, при сварке по способу опирания и в других случаях.

Чаще всего применяют швы шириной от 1,5 до 4 диаметров электрода, получаемые с помощью поперечных колебательных движений электрода.

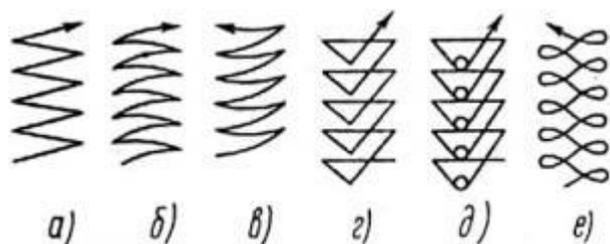


Рис. 26. Основные схемы поперечных движений конца электрода:

а, б, в, — при обычных швах, д, е — при швах с усиленным прогревом кромок

Наиболее распространенные виды поперечных движений электрода при ручной сварке (рис. 26): прямые по ломаной линии; полумесяцем, обращенным концами к наплавленному шву; полумесяцем, обращенным концами к направлению сварки; треугольниками; петлеобразные с задержкой в определенных местах.

### *Ломаная линия*

Поперечные движения по ломаной линии часто применяют для получения наплавочных валиков, при сварке листов встык без скоса кромок в нижнем положении и в тех случаях, когда нет возможности прожога свариваемой детали.

### *Полумесяц*

Движения полумесяцем, обращенным концами к наплавленному шву, применяют для стыковых швов со скосом кромок и для угловых швов с катетом менее 5 мм, выполняемых в любом положении электродами диаметром до 4 мм.

### *Треугольник*

Движения треугольником применяют при выполнении угловых швов с катетами шва более 6 мм и стыковых со скосом кромок в любом пространственном положении. В этом случае достигается хороший провар корня и удовлетворительное формирование шва.

### *Петля*

Петлеобразные движения применяют в случаях, требующих большого прогрева металла по краям шва, главным образом при сварке листов из высоколегированных сталей. Эти стали обладают высокой текучестью и для удовлетворительного формирования шва приходится задерживать электрод на краях, с тем чтобы предотвратить прожог в центре шва и вытекание металла из сварочной ванны при вертикальной сварке. Петлеобразные движения можно заменить движениями полумесяцем с задержкой дуги по краям шва.

### 35. Способы заполнения шва по длине и сечению.

Швы по длине выполняют напроход и обратно-ступенчатым способом. Сущность способа сварки напроход заключается в том, что шов выполняется от начала до конца в одном направлении.

Обратноступенчатый способ состоит в том, что длинный шов делят на сравнительно короткие участки.

По способу заполнения швов по сечению различают однослойные швы (рис. 48, а), многопроходные многослойные (рис. 48, б) и многослойные (рис. 48, в).

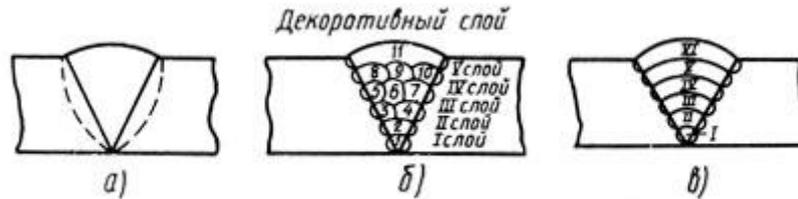


Рис. 48. Сварные швы: а - однослойный и однопроходной, б - многослойный и многопроходной, в - многослойный

Если число слоев равно числу проходов, то такой шов называют многослойным. Если некоторые из слоев выполняются за несколько проходов, то такой шов называют многопроходным.

Многослойные швы чаще применяют в стыковых соединениях, многопроходные - в угловых и тавровых.

Для более равномерного нагрева металла шва по всей его длине швы выполняются способами двойного слоя, секциями, каскадом и горкой, причем в основу всех этих способов положен принцип обратноступенчатой сварки (рис. 49).

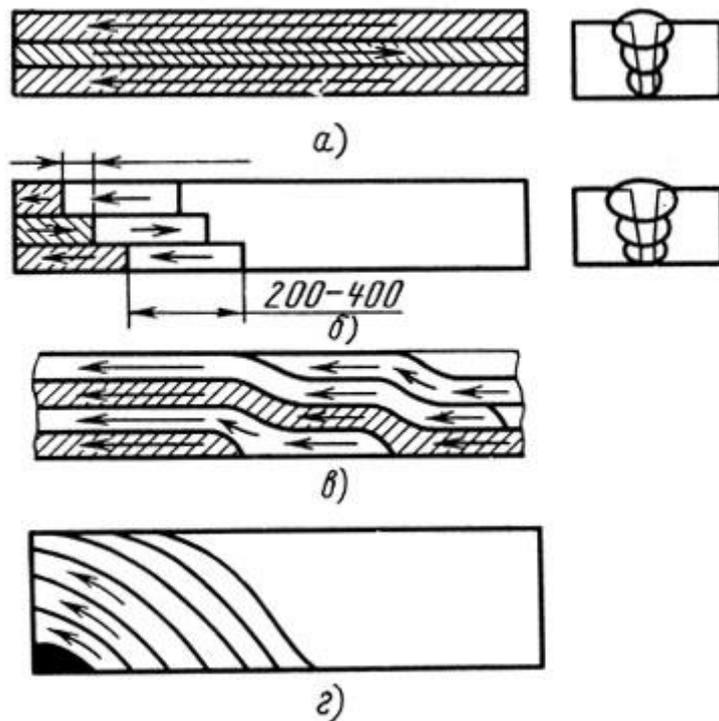


Рис. 49. Схемы заполнения многослойного шва с малым интервалом времени: а - секциями, б - каскадом, в - горкой

Сущность способа двойного слоя заключается в том, что наложение второго слоя производится по неостывшему первому после удаления сварочного шлака. Сварка на длине 200 - 400 мм ведется в противоположных направлениях. Этим предотвращается появление горячих трещин в шве при сварке металла толщиной 15 - 20 мм, обладающего значительной жесткостью.

При толщине стальных листов 20 - 25 мм и более для предотвращения трещины применяют сварку каскадом или горкой. Заполнение многослойного шва для сварки секциями и каскадом производится, как видно из рис. 49, по всей свариваемой толщине на определенной длине ступени. Длина ступени подбирается такой, чтобы металл в корне шва имел температуру не менее  $200^{\circ}\text{C}$  в процессе выполнения шва по всей толщине. В этом случае металл обладает высокой пластичностью и трещин не образуется. Длина ступени при каскадной сварке равна 200 - 400 мм, а при сварке секциями - больше. Сварка горкой производится проходами по всей толщине металла. Способ сварки выбирается в зависимости от химического состава и толщины металла, числа слоев и жесткости свариваемого изделия.

Многослойная сварка имеет перед однослойной следующие преимущества:

1. Уменьшается объем сварочной ванны, в результате чего скорость остывания металла возрастает и размер зерен уменьшается.
2. Химический состав металла шва близок к химическому составу наплавленного металла, так как малая сила сварочного тока при многослойной сварке способствует расплавлению незначительного количества основного металла.

3. Каждый последующий слой шва термически обрабатывает металл предыдущего слоя и околошовный металл имеет мелкозернистую структуру с повышенной пластичностью и вязкостью.

Каждый слой шва должен иметь толщину 3 - 5 мм (при сварке низкоуглеродистой стали) в зависимости от силы сварочного тока.

При сварочном токе 100 А дуга расплавляет металл верхнего слоя на глубину около 1,5 мм, а металл нижнего слоя (глубина более 1,5 мм) нагревается от 1500 до 1100°С и при быстром охлаждении образует мелкозернистую литую структуру.

При сварочном токе 200 А толщина слоя может быть увеличена до 5 мм, а термическая обработка нижнего слоя произойдет на глубине около 2,5 мм.

Термическая обработка металла корневого шва с получением мелкозернистой структуры осуществляется нанесением подварочного валика, который выполняется электродом диаметром 3 мм при сварочном токе 100 А. Перед нанесением подварочного валика корень шва очищают термической резкой или резцом. Подварочный валик накладывается по длине напроход.

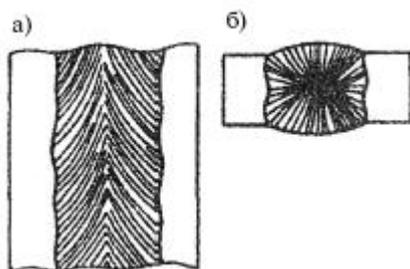
Термическая обработка металла верхнего слоя выполняется нанесением отжигающего (декоративного) слоя. Толщина отжигающего слоя должна быть минимальной (1 - 2 мм), обеспечивающей высокую скорость остывания и мелкозернистую структуру верхнего слоя. Отжигающий слой выполняется электродами диаметрами 5 - 6 мм при токе 200 - 300 А в зависимости от толщины листа.

**Окончание шва.** В конце шва нельзя сразу обрывать дугу и оставлять на поверхности металла кратер. Кратер может вызвать появление трещины в шве вследствие содержания в нем примесей, прежде всего серы и фосфора. При сварке низкоуглеродистой стали кратер заполняют электродным металлом или выводят его в сторону на основной металл. При сварке стали, "склонной к образованию закалочных микроструктур, вывод кратера в сторону недопустим ввиду возможности образования трещины. Не рекомендуется заваривать кратер за несколько обрывов и зажиганий дуги ввиду образования окисных загрязнений металла. Лучшим способом окончания шва будет заполнение кратера металлом за счет прекращения поступательного движения электрода вниз и медленного удлинения дуги до ее обрыва.

### **36. Формирование и кристаллизация металла шва, строение зоны термического влияния**

Дуга в процессе сварки оказывает давление на сварочную ванну. Это приводит к тому, что жидкий металл из-под основания дуги вытесняется, дуга несколько погружается. При ручной сварке толстопокрытыми электродами глубина погружения дуги составляет 3—4 мм, при сварке под флюсами – 8—10 мм. По мере продвижения дуги в хвостовой части зоны плавления металла происходит интенсивный отвод тепла в массу холодного металла. Кристаллиты растут в направлении, перпендикулярном к поверхности теплоотвода. Кристаллизация металла шва, т. е. переход из жидкого состояния в твердое, протекает с остановками. После охлаждения первого слоя происходит некоторая задержка кристаллизации из-за ухудшения теплоотвода и выделения скрытой теплоты кристаллизации первого слоя. После некоторой задержки вследствие непрекращающегося теплоотвода в глубь основного металла начинает кристаллизоваться второй слой и т. д. Таким образом, периодически происходит кристаллизация по всему продольному и поперечному сечению металла шва.

Толщина кристаллизационных слоев может колебаться от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Закристаллизовавшийся металл однопроходного шва имеет столбчатое строение, это обусловлено тем, что в направлении отвода теплоты (перпендикулярно границе плавления) кристаллиты растут быстрее, чем в других направлениях. Наибольшая толщина кристаллизационных слоев наблюдается в металле шва при электрошлаковой сварке. Ось каждого кристаллита обычно не прямая, она несколько изогнута в направлении вершины шва (рис. 17).



**Рис. 17.** Направление столбчатых кристаллитов в швах, выполненных электрошлаковой сваркой: а – разрез вдоль шва; б – разрез поперек шва

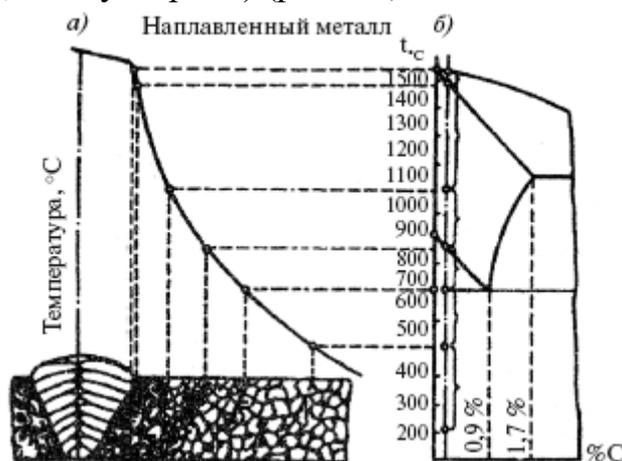
При сварке под флюсом уменьшается скорость охлаждения шва, это создает благоприятные условия для удаления газов из металла шва и всплывания шлаковых включений, но размер кристаллитов резко увеличивается, что ухудшает прочностные свойства металла шва. Чтобы избежать ухудшения свойств, необходимо измельчить структуру шва. Для этого в жидкий металл вводятся добавки (модификаторы) – алюминий, титан или ванадий. В процессе кристаллизации металла шва возникает неравномерное распределение составляющих сплава. Это в металловедении называют ликвацией.

*Ликвация* – это прежде всего неоднородность по химическому составу. Ликвация зональная характеризуется различием химического состава периферийной зоны и центральной части металла шва.

Дендритная (внутрикристаллическая) ликвация характеризуется неоднородностью химического состава отдельных кристаллов. Центральная часть дендритов состоит, как правило, из чистого твердого раствора, а граница между дендритами наиболее загрязнена вредными примесями, поэтому разрушение металла шва чаще всего

происходит по границам зерен. Чтобы избежать вредного влияния ликвации (особенно при сварке легированных сталей) необходимо производить термическую обработку для выравнивания химического состава металла. На свойства сварного соединения наряду с химическим составом металла шва значительное влияние оказывает и структура металла шва, а также структура зоны термического влияния околошовной зоны. В процессе сварки нагревается основной металл и в нем происходят структурные изменения под воздействием высоких температур.

Область нагрева называют зоной термического влияния. В дальнейшем применяется сокращенное название ЗТВ. Температура, до которой нагреваются отдельные участки ЗТВ, изменяется от температуры плавления до окружающей температуры. Рассмотрим структуры ЗТВ для сталей, наиболее распространенных при сварке конструкций (до 0,20 % углерода) (рис. 18).



**Рис. 18.** Схема изменения структур околошовной зоны однопроходного шва:

*а* – температурные границы участков околошовной зоны; *б* – часть диаграммы состояния сплавов Fe-C

В зависимости от температуры нагрева, структурных и физико-механических изменений в ЗТВ различают следующие участки: 1) неполного расплавления; 2) перегрева; 3) нормализации; 4) неполной перекристаллизации; 5) рекристаллизации; 6) синеломкости.

*Участок неполного расплавления* является переходным от наплавленного металла к основному, его часто называют переходной зоной. В процессе сварки этот участок находится в твердожидком состоянии, и поэтому переходная зона отличается по химическому составу как от основного, так и от наплавленного металла. Свойства этого участка оказывают в большинстве случаев решающее влияние на работоспособность сварной конструкции.

*Участок перегрева* определяется температурными границами: от температуры участка неполного расплавления до температуры около 1100 °C. В некоторых случаях при ручной сварке в зоне перегрева сталей с повышенным содержанием углерода образуется крупнозернистая структура, которая заметно снижает пластичность металла и увеличивает его хрупкость.

Ударная вязкость снижается на 25 % и более.

*Участок нормализации* охватывает металл, нагреваемый в процессе сварки от температуры несколько выше линии критических превращений до температуры ниже 1000 °C. На этом участке происходит образование мелкозернистой вторичной

структуры. Механические свойства металла на участке нормализации обычно выше свойств основного металла в его исходном состоянии.

*Участок неполной перекристаллизации* для низкоуглеродистой стали определяется температурным диапазоном от 725 до 850 °С. Металл на этом участке подвергается только частичной перекристаллизации. Наряду с зернами, образовавшимися в результате перекристаллизации, присутствуют зерна исходного металла.

*Участок рекристаллизации* наблюдается при сварке стали, подвергшейся пластической деформации (прокат). На этом участке в интервале температур 450—700 °С наблюдается некоторое измельчение зерен, что не изменяет механических свойств ЗТВ металла.

*Участок синеломкости* охватывает температурный диапазон от 200 до 400 °С. На этом участке наблюдаются синие цвета побежалости на поверхности металла. При сварке низкоуглеродистых сталей на участке наблюдается резкое падение ударной вязкости из-за снижения пластичности. Это происходит в тех случаях, когда в сталях содержится кислород, азот и водород в несколько избыточном количестве.

Размеры отдельных участков ЗТВ и общая ширина ее зависят от условий нагрева, охлаждения и способов сварки.

### **37. Особенности металлургии сварки**

Сварка металлов плавлением представляет собой более сложный металлургический процесс по сравнению с металлургическим процессом, происходящим при получении металлических отливок.

Характерными особенностями сварки сталей являются следующие:

1. Высокая температура нагрева металла. При дуговой сварке температура сварочной ванны достигает 2300°С вместо 1700°С в мартеновской печи.
2. Малый объем расплавленного металла в сварочной ванне. При ручной сварке покрытыми электродами он редко достигает 2 см<sup>3</sup>.
3. Кратковременность процесса. Время от начала расплавления до застывания сварочной ванны составляет несколько секунд; охлаждение протекает со скоростью 5 - 15°С/с.

Высокая температура в зоне дуги приводит к быстрому плавлению электродного металла, покрытия, флюса, а также металла свариваемых частей. Молекулы кислорода, азота, водорода, находящиеся в воздухе в зоне Дуги, частично распадаются на атомы и ионы. В атомарном состоянии эти элементы обладают высокой активностью, вступают в химические соединения с элементами расплавленной стали и растворяются в ней, образуя после остывания хрупкий металл. Высокая температура при сварке приводит также к испарению, выгоранию и разбрызгиванию металла и других веществ, находящихся в зоне сварки.

Малый объем расплавленного металла в сварочной ванне и относительно холодный твердый металл свариваемых частей вызывают интенсивный отвод тепла

в свариваемое изделие, в результате чего химические реакции между расплавленным металлом и шлаком протекают за очень короткое время, не успевая полностью завершиться и не создавая равновесия, как это обычно происходит в большом металлургическом процессе. Быстрое затвердевание и кристаллизация металла шва отражаются на структуре и механических свойствах металла шва и металла свариваемых частей. Химический состав, структура и механические свойства металла шва зависят не только от состава присадочного металла и металла свариваемых частей, но также в значительной степени и от характера и интенсивности химических реакций при сварке. Поэтому при определении свойств и прочности металла шва, а также свойств и прочности всего сварного соединения приходится учитывать указанные особенности сварочного процесса.

### Загрязнение металла шва

В процессе нагрева при сварке молекулы кислорода, азота и водорода, содержащиеся в воздухе, распадаются на атомы и ионы. В атомном состоянии они обладают высокой химической активностью и сравнительно легко образуют химические соединения с элементами, входящими в состав стали. В свою очередь, химические соединения могут растворяться в железе, составляющем основу стали. Способность растворения химического соединения в железе тем выше, чем больше температура нагрева и меньше содержание углерода в стали. Например, закись железа  $\text{FeO}$  при температуре плавления железа  $1539^\circ\text{C}$  растворяется в железе до концентрации 0,21% кислорода, нитриды железа  $\text{Fe}_4\text{N}$  и  $\text{Fe}_2\text{N}$  - до 0,065% азота, атомарного водорода - 0,0008%, сульфида железа  $\text{FeS}$  - до 0,7% серы, также много растворяется в железе фосфидов  $\text{Fe}_3\text{P}$ ,  $\text{Fe}_2\text{P}$ ,  $\text{FeP}$ .

Растворимость этих соединений еще больше при температуре кипения железа, равной  $2735^\circ\text{C}$ .

Если смесь этих растворов внезапно охладить до комнатной температуры, то вся масса металла будет находиться в состоянии перенасыщенного твердого раствора, обладающего весьма большой хрупкостью.

Однако с течением времени из твердых растворов выпадают отдельные компоненты. Они образуют новую структуру, отличающуюся от структуры основного металла.

Распад любого твердого раствора в течение длительного времени называют химическим старением металла. Обычно оно сопровождается снижением вязкости и пластичности металла и в этом отношении является вредным процессом. Поэтому нельзя допускать насыщения сварного шва вредными примесями, находящимися в растворе.

Источниками насыщения шва вредными веществами служит окружающий воздух, ржавчина, масло, влага, минералы, входящие в состав сварочных

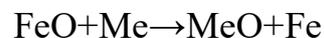
материалов, химические соединения, образующиеся в процессе взаимодействия сварочных материалов с расплавленным металлом.

Борьба с загрязнениями металла шва производится в процессе образования капель на торце электрода, при переносе капель в сварочную ванну и в самой сварочной ванне в процессе нагрева и охлаждения ее. Применяются физический и химический способы борьбы с загрязнениями металла шва.

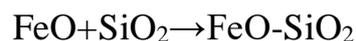
Физический способ борьбы с загрязнениями заключается в сушке и прокаливании сварочных материалов для удаления из них влаги, а следовательно, кислорода и водорода, в удалении ржавчины, масла и влаги с поверхностей свариваемых деталей; в создании газовой и шлаковой оболочек вокруг дуги, препятствующих проникновению воздуха.

Химический способ борьбы с загрязнениями состоит в раскислении металла сварочной ванны, а также в удалении сульфидов, фосфидов, нитридов и водорода при помощи химических реакций. В результате этих реакций образуются новые химические соединения, нерастворимые в железе и переходящие в сварочный шлак.

Раскислителями являются либо чистые материалы (С, Al), либо ферросплавы (FeMn, FeSi, FeTi и др.), либо кислые окислы (SiO<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub> и др.), а также восстановительные газы (СО, Н<sub>2</sub>). Тогда закись железа FeO, способная растворяться в железе, переводится в нерастворимое химическое соединение по следующим формулам :



или



где MeO и FeO о SiO<sub>2</sub> - нерастворимые вещества.

Растворимый сульфид железа FeS в результате реакции  $\text{FeS} + \text{CaO} \rightarrow \text{CaS} + \text{FeO}$  заменяется нерастворимым сульфидом кальция CaS, который при малой скорости охлаждения всплывает наверх и переходит в сварочный шлак.

При высоких скоростях охлаждения нерастворимые соединения, содержащие кислород, азот, водород, серу и фосфор, внесенные сварочными материалами или из воздуха, могут остаться в шве в виде окислов, нитридов, газов, сульфидов и т. п. и тем самым ухудшить механические свойства металла шва. Но отрицательное влияние этих примесей меньше тех, которые находятся в растворе.

Различные загрязнения (неметаллические включения) удаляются из металла шва флюсами-растворителями, вводимыми в состав сварочных материалов (проволока, покрытия штучных электродов, флюсы, порошки в порошковой проволоке и т. д.). Флюсы-растворители образуют с загрязняющими веществами легкоплавкую

механическую смесь, имеющую низкую удельную плотность. Она легко всплывает наверх и переводит вредные вещества из металла шва в шлак.

Хорошим флюсом-растворителем, который часто применяется в сварочных материалах, является флюорид кальция (CaF<sub>2</sub>).

Флюорид кальция также химически взаимодействует с азотом и водородом, образуя нерастворимые в железе вещества, которые удаляются из сварочной ванны в шлак. Атомный фтор, выделяющийся из фтористого кальция при высокой температуре, соединяется с атомным азотом или с атомным водородом и образует фтористый азот NF или фтористый водород HF, которые не растворяются в железе и легко удаляются из металла шва в шлак (NF) и в виде газа (HF) в атмосферу.

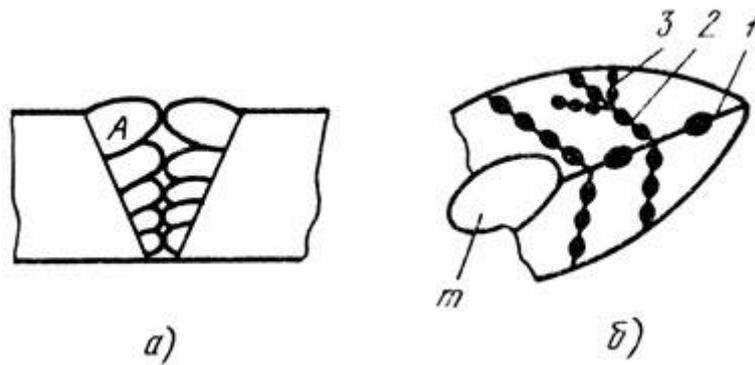
Химическим взаимодействием между жидким металлом и неметаллическими веществами можно не только очищать металл от загрязнений, но и легировать его. Под легированием понимают введение в металл шва различных элементов (хром, никель, марганец и др.), которые придают ему заданные свойства (прочность, вязкость, коррозионную стойкость и др.).

### **Кристаллизация металла шва и образование трещин**

Кристаллизацией называется процесс образования зерен из расплавленного металла при переходе его из жидкого состояния в твердое. Различают первичную и вторичную кристаллизацию. Первичная кристаллизация протекает при высоких скоростях охлаждения и перехода из жидкого в твердое состояние с образованием столбчатой структуры. Вторичная кристаллизация начинается с распада первичной структуры и заканчивается при низких температурах образованием устойчивых не распадающихся микроструктур.

Температуры, при которых происходят первичная и вторичная кристаллизации стали, и характер образующейся при этом структуры металла в зависимости от содержания углерода определяют по диаграмме состояния железо - углерод.

Кристаллизация металла сварочной ванны начинается в зоне сплавления от твердых кромок свариваемых деталей (рис. 17). Началом кристаллизации являются не полностью оплавленные зерна на кромках металла. Они нарастают затвердевающими частицами металла сварочной ванны. Из сварочной ванны появляются зародыши новых растущих зерен. Такие частицы имеют очень низкую концентрацию углерода. По мере снижения температуры ванны и приближения к температуре затвердевания зародыши обогащаются углеродом, концентрация которого доходит до 0,07%.



*Рис. 17. Кристаллизация металла шва: а - дендритная (столбчатая) структура однопроходного шва, б - дендрит А (увеличен), м - не полностью оплавленное зерно основного металла; 1 - ось первого порядка кристаллизации, 2 - ось второго порядка, 3 - ось третьего порядка; кружки - зародыши кристаллизации (будущие зерна)*

При затвердевании металла происходят два явления: первоначальное образование зародышей зерен и последующий их рост за счет присоединения к ним новых зерен металла из сварочной ванны. Зародыши появляются первоначально на оси первого порядка (см. рис. 17), перпендикулярной плоскости отвода тепла. От оси первого порядка под углом возникают и растут зародыши на оси второго порядка. Могут образоваться зародыши и на оси третьего порядка и т. д., образуя кристаллиты, формой напоминающие деревья и называемые поэтому дендритами (от французского слова "дендрон" - дерево). Химический состав каждого дендрита может быть неодинаковым, что объясняет химическую неоднородность металла шва. Дендриты, образовавшиеся в конце процесса кристаллизации, загрязнены примесями в большей степени, чем первые затвердевшие дендриты, что наблюдается при низких скоростях охлаждения. Дендриты соприкасаются между собой и этим взаимно тормозят свое развитие. В результате этого их форма и направленность могут сильно искажаться.

Кристаллизация металла сварных швов имеет прерывистый характер. Под действием сил, появляющихся в процессе сварки и кристаллизации, металл сварочной ванны постоянно находится в движении. Эти силы придают металлу шва слоистый характер при любых условиях сварки (рис. 18). Чем сильнее теплоотвод и меньше объем жидкого металла, тем тоньше кристаллизационный слой. Слоистый характер затвердевшего металла выражается чешуйчатостью шва. Кристаллизационные слои в любом сечении шва могут быть рассмотрены на специально подготовленных макрошлифах.

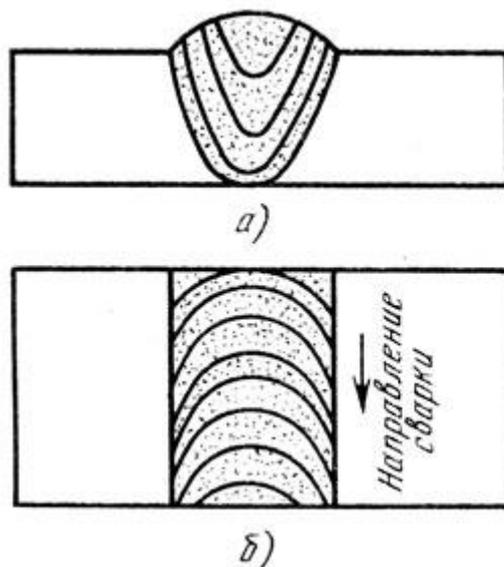


Рис. 18. Схема кристаллизационных слоев в шве: а - поперечное сечение стыкового соединения, б - внешний вид (чешуйчатость) шва

С возрастанием количества дендритов механическая связь между ними увеличивается, что повышает работоспособность металла шва. Число дендритов пропорционально скорости охлаждения.

При однопроводной сварке дендриты имеют форму столбиков (рис. 17), такую структуру называют столбчатой.

Зерна металла шва обычно имеют округлую форму. Зерна основного металла по форме отличаются от зерен металла шва тем, что они деформированы и вытянуты в направлении прокатки.

Находящиеся в сварочной ванне примеси и загрязнения (окислы, шлаки и др.) имеют более низкую температуру затвердевания, чем металл; они располагаются по границам зерен, ослабляя их сцепление между собой.

Форма шва влияет на расположение неметаллических включений. В широких и неглубоких швах эти включения вытесняются вверх и могут быть легко удалены; в узких и глубоких швах включения часто остаются между дендритами и зернами. При образовании между дендритами легкоплавких загрязнений, например сульфида железа  $FeS$  с температурой плавления  $1190^{\circ}C$ , в охлаждаемом шве могут появиться горячие трещины. Они возникают под влиянием растягивающей усадочной силы и называется трещинами усадочного характера.

Трещины могут возникнуть в металле из-за действия водорода. Атомарный водород соединяется в молекулы и создает большие давления внутри зерен, что приводит к образованию трещин.

Трещины возникают в металле под влиянием мартенситного превращения. Мартенсит обладает меньшей удельной плотностью ( $7,5 \text{ г/см}^3$ ) по сравнению с удельной плотностью перлита ( $7,8 \text{ г/см}^3$ ), это ведет к созданию дополнительных

внутренних напряжений (натяжений) между частицами металла, что вызывает появления трещин.

Трещины могут возникать и от выпадения из растворов частиц сульфидов, фосфидов, нитридов, закиси железа и др., что объясняется внутренними напряжениями.

### 38. Микроструктура металла зоны термического влияния

В зоне термического влияния сварного соединения из низкоуглеродистой стали различают следующие участки: неполного расплавления, перегрева, полной перекристаллизации или нормализации, неполной перекристаллизации, рекристаллизации и синеломкости (рис. 20).

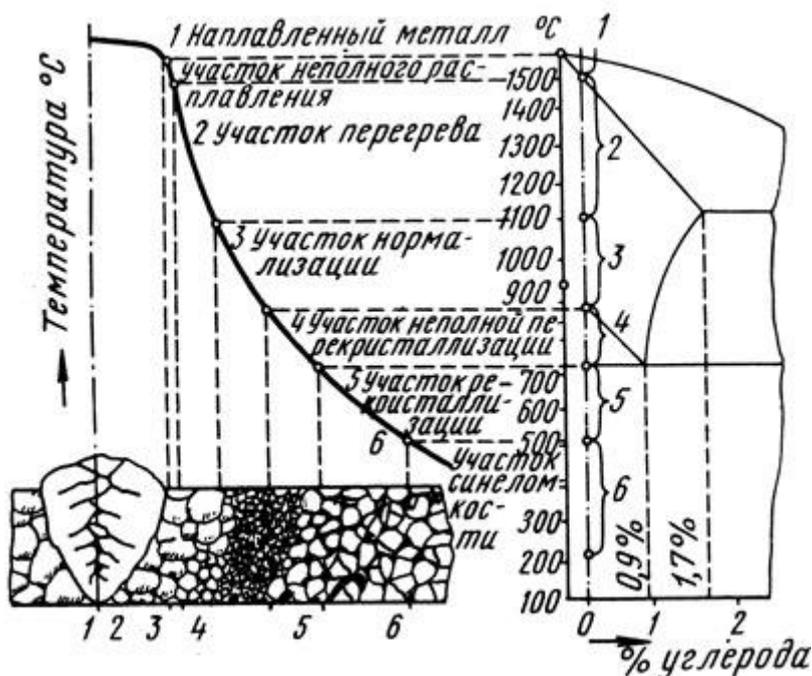


Рис. 20. Схема строения зоны термического влияния при ручной дуговой сварке низкоуглеродистой стали: Цифрами 7 - 6 обозначены одни и те же участки на разрезе сварного соединения, на кривой распределения максимальных температур и шкале температур на части диаграммы Fe - C

Участок неполного расплавления - переходный от наплавленного металла к металлу свариваемой детали. Ширина этого участка очень мала, она измеряется микронами, но его роль в сварном соединении весьма важна. Здесь происходит сплавление, т. е. образование металлической связи между металлом шва и свариваемой деталью. Если между зёрнами имеется пленка окислов или осажденных газов, то в этом месте не произойдет прочной металлической связи и этим можно объяснить образование трещин в зоне сплавления.

Участок перегрева находится в границах температур нагрева металла 1100 - 1450°C и характеризуется значительным ростом зерна. Поверхность перегретых зерен может превышать поверхность начальных зерен в 16 раз при ацетиленокислородной и в 12 раз при дуговой сварке. Перегрев снижает механические свойства стали, главным образом пластичность и сопротивление ударным нагрузкам. Эти свойства тем ниже, чем крупнее зерна и шире участок перегрева. Перегретый металл является самым слабым местом в сварном соединении, поэтому здесь чаще всего оно и разрушается.

По мере удаления от шва температура металла понижается. В пределах температур 900 - 1100°C находится участок полной перекристаллизации или нормализации с мелкозернистой структурой. Мелкозернистая сталь в интервале температур от - 40 до + 200°C обладает высокой прочностью и пластичностью, большей, чем основной металл.

При температурах нагрева 720 - 900°C происходит неполная перекристаллизация: наряду с крупными зернами в этом участке остаются и более мелкие. По прочности металл этого участка занимает промежуточное положение между металлом на участке полной перекристаллизации и основным металлом.

Участок, нагревавшийся от 450 до 723°C, называется участком рекристаллизации; в нем структура стали не изменяется, а происходит лишь восстановление прежней формы и размеров зерен, деформированных при холодной прокатке металла. Если до сварки основной металл не подвергался холодной пластической деформации, то процесс рекристаллизации происходить не будет.

На участке, нагретом ниже 450°C, структура стали не отличается от структуры основного металла. Однако сталь, нагретая от 100 до 450°C, обладает пониженными механическими свойствами, что объясняется выпадением из твердого раствора чрезвычайно мелких частиц различных примесей, располагающихся по границам зерен. Это явление называют синеломкостью (температура синих цветов побежалости). Кроме того, снижение пластичности происходит и под влиянием пластических деформаций сварки. Для низкоуглеродистой стали это соответствует температурам нагрева свыше 100°C.

Ширина зоны термического влияния зависит прежде всего от погонной энергии при сварке. При ручной сварке она составляет 5 - 6 мм, при автоматической сварке под флюсом в зависимости от толщины металла и режима - от 0,5 до 10 мм, при газовой сварке - 25 мм.

### **Места разрушения сварных соединений**

Прочность металла шва, зоны термического влияния и основного металла различна. Поэтому сварное соединение следует рассматривать как неоднородное тело.

Разрушения сварных соединений могут происходить по основному металлу, в зоне термического влияния и по металлу шва в зависимости от того, какая зона имеет меньшую прочность.

Раньше, когда сварка выполнялась ионизирующими электродами с тонким меловым покрытием, прочность сварных соединений составляла не более 60% прочности основного металла. Это вызывало необходимость увеличивать сечение деталей для того, чтобы обеспечить нужную прочность сварных соединений. В настоящее время равнопрочность сварных соединений, работающих на статическую нагрузку с основным металлом, обеспечивается при сварке покрытыми электродами и другими сварочными материалами. Прочность сварных соединений зависит от прочности металла шва, ширины перегретого металла в зоне термического влияния, совместной ширины металла шва и ширины перегретого металла, характера приложения внешней нагрузки, температуры эксплуатации изделия и других факторов.

## **Деформации и напряжения при сварке.**

### **39. Общие сведения о деформациях и напряжениях.**

Прочностью металла называют способность его сопротивляться разрушению под действием сил.

Силы подразделяют на внешние и внутренние. Внешние силы создаются от внешней нагрузки: вес изделия, давление газа в сосуде, предварительное натяжение элемента, например, арматурного стержня в железобетоне и от временной нагрузки: вес снега на крыше здания, ветер, создающий нагрузку на стену сооружения, сейсмические воздействия и др.

Внутренние силы возникают от изменения температуры изделия при эксплуатации, изменения структуры металла под действием внешней нагрузки или при сварке, или от действия тех и других. В расчетах на прочность внутреннюю силу часто называют усилием.

Внешние нагрузки бывают статическими (постоянными в процессе эксплуатации изделия), динамическими (переменными по величине и направлению) и ударными. Динамические знакопеременные нагрузки называются также вибрационными.

*Деформацией* называется изменение формы и размеров тела под действием внешней или внутренней силы. Допустим, что к концам стержня длиной  $L$  (рис. 23) приложены силы, возрастающие от  $P$  до  $P_1$ , растягивающие его.

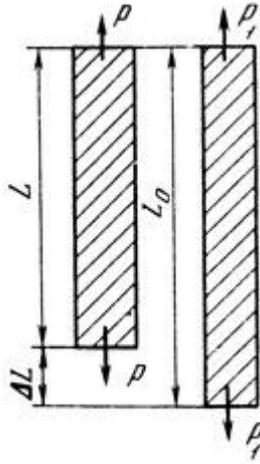


Рис. 23. Изменение длины стержня при возрастании нагрузки:  $P, P_1$  - силы, действующие на стержень

Под действием этих сил стержень удлинится. Обозначим через  $\Delta L$  увеличение длины стержня, называемое *абсолютным удлинением*. Отношение абсолютного удлинения  $\Delta L$  к первоначальной длине стержня  $L$  называется *относительным удлинением*

$$\delta = \frac{\Delta L}{L}.$$

Относительное удлинение обычно выражается в процентах, т. е.

$$\delta = \frac{\Delta L}{L} \cdot 100\%.$$

При растяжении стержня постоянного сечения величина деформации определяется действующей силой. Чем больше сила, тем больше вызываемая ею деформация.

*Напряжением* называют силу, отнесенную к единице площади поперечного сечения тела. Сила измеряется в кгс, площадь в мм<sup>2</sup> или см<sup>2</sup>, а напряжение в кгс/мм<sup>2</sup>, кгс/см<sup>2</sup>.

Различают напряжения растяжения, сжатия, изгиба, кручения и среза. Величина напряжения растяжения находится от деления растягивающей силы на площадь сечения детали, т. е.

$$\sigma_p = \frac{P}{F},$$

где  $\sigma_p$  - напряжение растяжения, кгс/мм<sup>2</sup>;  $P$  - растягивающая сила, кгс;  $F$  - площадь поперечного сечения детали до ее разрушения, мм<sup>2</sup>.

Деформации могут быть упругие и пластические. Если форма и размеры тела восстанавливаются после прекращения действия силы, то такая деформация будет упругой. Для образца из низкоуглеродистой стали, в котором действует постоянно возрастающее напряжение, деформация в виде относительного удлинения  $\delta\%$  остается упругой до тех пор, пока сила не превысит некоторый предел, называемый пределом упругости  $\sigma_y$  (рис. 24, точка В). Точкой С на диаграмме отмечена сила (или напряжение), при которой появляется деформация, остающаяся после снятия нагрузки, - пластическая деформация. Эту точку называют пределом текучести  $\sigma_T$ .

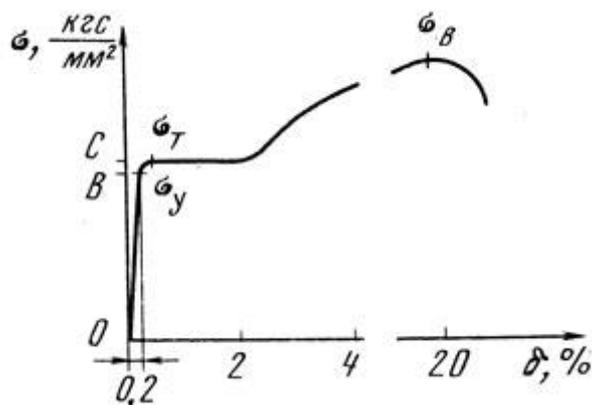


Рис. 24. Диаграмма растяжения стали: - предел упругости, ат - предел текучести,  $a^*$  - временное сопротивление растяжению

Упругая деформация по величине весьма незначительна. Для низкоуглеродистых сталей она не превышает 0,2%. Следовательно, любое усилие, вызывающее относительное удлинение менее 0,2%, приводит лишь к упругой деформации, которая сразу же исчезает при прекращении действия приложенного усилия.

Пластическая деформация сильно увеличивается, если напряжение превышает предел упругости. Например, если напряжение в детали из стали Ст3 превысит предел упругости на 1 кгс/мм<sup>2</sup>, относительное удлинение возрастет с 0,2 до 2%.

При повышении температуры стали предел упругости и предел текучести понижаются, следовательно, пластическая деформация возникает при меньших напряжениях или усилиях, чем в холодном металле (рис. 25). Из рисунка видно, что предел текучести при температуре 0°С, равный 25 кгс/мм<sup>2</sup>, при температуре 400°С понижается до 15 кгс/мм<sup>2</sup>, а при 600°С до 6 кгс/мм<sup>2</sup>. При температуре выше 600°С предел текучести становится настолько малым, что достаточно совсем небольшого усилия для возникновения остаточной деформации.

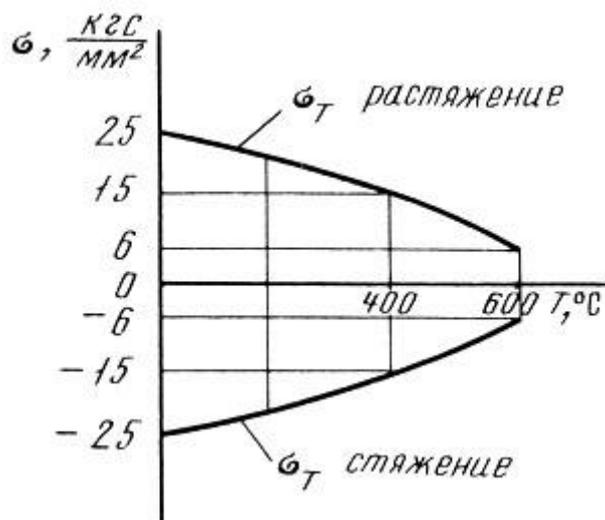


Рис. 25. Влияние температуры на величину предела текучести стали

#### 40. Причины возникновения деформаций и напряжений.

При сварке металлических конструкций в них возникают напряжения, которые в отличие от напряжений, вызываемых внешними рабочими нагрузками, носят название внутренних или сварочных. **Сварочные напряжения и деформации подразделяются:**

- **временные**, т. е. существующие в период осуществления сварки;
- **остаточные**, сохраняющиеся и после процесса сварки.

Следует также различать **деформации в зоне сварных соединений** и **деформации сварной конструкции в целом**. Деформации в сварных конструкциях являются результатом наличия внутренних напряжений, которые могут вызываться различными причинами. Любой металл при нагревании расширяется, а при охлаждении сжимается. При изменении температуры меняется структура металла, происходит перегруппировка атомов из одного типа кристаллической решетки в другой, увеличивается или уменьшается объем.

В результате литейной усадки наплавленного металла, неравномерного нагрева в процессе сварки, изменения объема металла, вызванного изменением структуры металла при сварке, возникают напряжения. Затвердевание жидкого присадочного металла в сварочной ванне и последующее охлаждение приводят к уменьшению его объема. При этом затвердевающий металл уже прочно связан с основным металлом, и усадка вызывает появление внутренних напряжений. Если нагреваемое тело встречает препятствие своему расширению, то в нем возникают напряжения, направленные на преодоление этого препятствия.

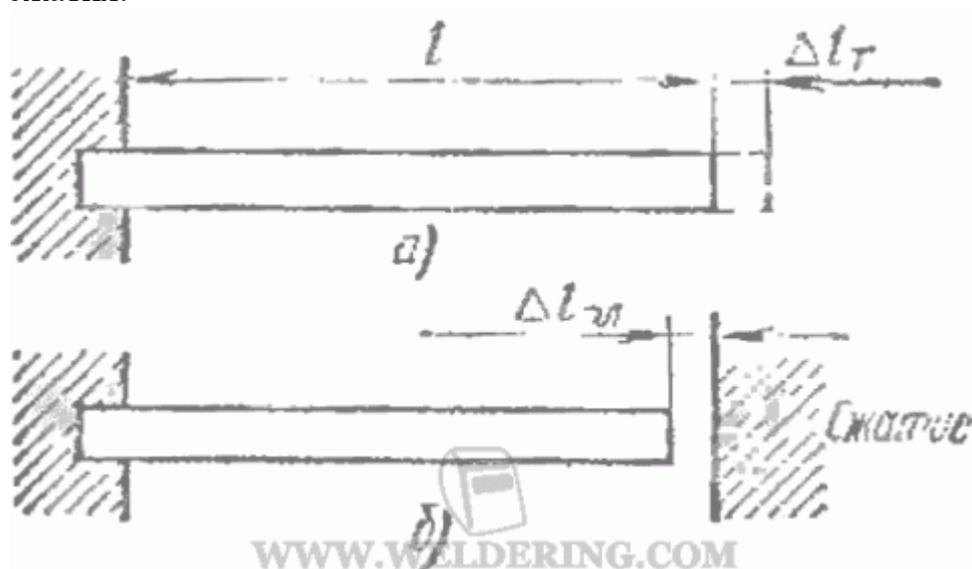
При сварке основной металл нагревается в зоне плавления до температуры более высокой, чем температура металла, окружающего сварочную ванну и удаленного от нее. Неравномерный нагрев металла, вызванный сваркой, приводит к появлению

сжимающих сил в зоне металла, прилегающей ко шву, и растягивающих сил вдали от сварного шва. В результате происходит коробление сварного соединения. Кроме того, затвердевание и охлаждение металла шва приводят к его усадке и деформации свариваемого изделия. Структурные напряжения связаны с изменением размеров кристаллов и их взаимного расположения и сопровождаются изменением объема тела, вызывающим внутренние напряжения. Внутренние силы, возникающие в металле при сварке, могут быть достаточными, чтобы привести к образованию трещин в швах или рядом с ними.

Напряженное состояние, вызванное сваркой малопластичных материалов или материалов, склонных к закалке (чугуна, легированных и инструментальных сталей и др.), способствует образованию трещин в сварном шве и основном металле.

Представление о причинах возникновения тепловых сварочных деформаций и напряжений дает ознакомление с процессом нагрева и охлаждения стержня при его различном закреплении.

Если нагреть стержень до температур, вызывающих только упругое деформирование, то при его охлаждении до исходной температуры в нем не возникнет никаких напряжений и остаточных деформаций и длина его останется неизменной. Если же температура нагрева стержня превысит величину, при которой напряжения сжатия превысят предел текучести материала, то в стержне появятся пластические деформации и он начнет сжиматься. Если после этого сжатия стержень охладить до начальной температуры, то его длина окажется короче на величину пластического сжатия.



### **Упругая и пластическая деформация.**

В твердых телах различают два основных вида деформаций — упругую и пластическую, физическая сущность которых различна.

Упругая (обратимая) деформация тела полностью устраняется после прекращения действия вызвавших ее сил (нагрузок), так как под действием приложенных сил происходит только незначительное смещение атомов или поворот блоков кристалла. При смещении атомов из положения равновесия нарушается баланс сил притяжения и электростатического отталкивания. Поэтому после снятия нагрузки межатомные расстояния *a* *тс* восстанавливаются, смещенные атомы под действием сил притяжения или отталкивания возвращаются в исходное равновесное состояние, кристаллы приобретают свою первоначальную форму и размеры (рис. 1.4, *a*, *б*).

Процесс деформации под действием постепенно возрастающей нагрузки складывается из трех последовательно накладывающихся одна на другую стадий (рис. 1.5).

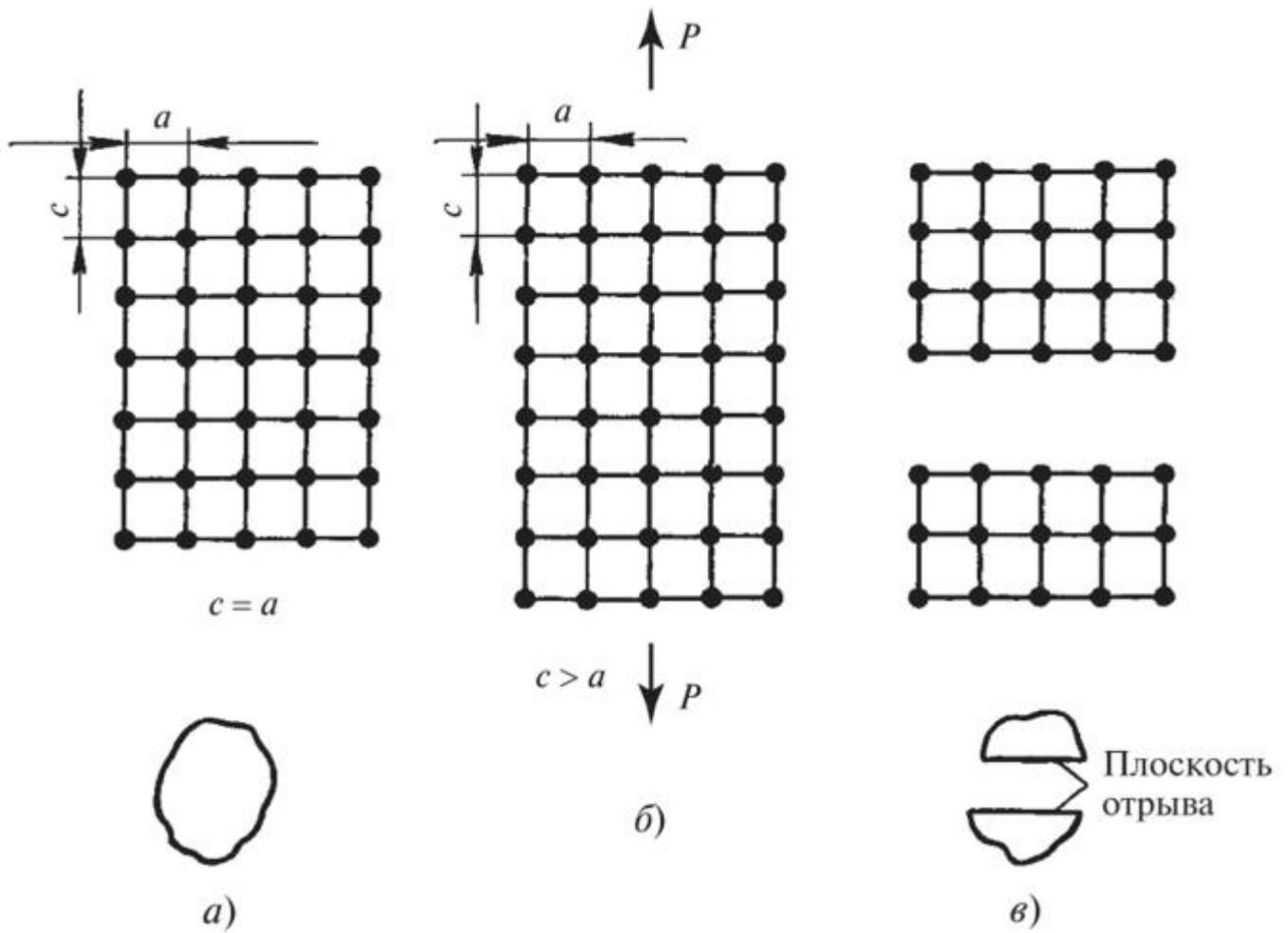
Даже незначительное по величине приложенное напряжение вызывает упругую деформацию и в чистом виде наблюдается только при напряжениях до точки *A*. Упругая деформация характеризуется прямо пропорциональной зависимостью от напряжения и упругим изменением размеров межатомных расстояний.

При некоторых значениях напряжений (выше точки *A*) начинается пластическая деформация в отдельных зернах металла.

Дальнейшее увеличение напряжений вызывает увеличение упругой и пластической (остаточной) деформации (участок *AB* упругопластических деформаций).

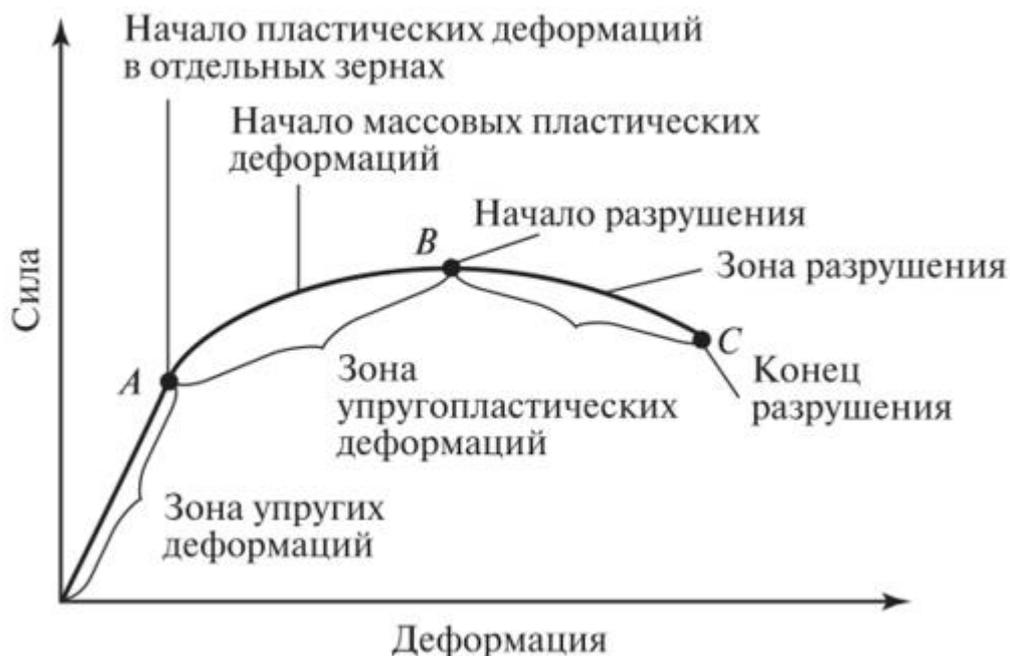
При достижении напряжениями так называемого предела, или порога, упругости (около точки *A*) деформация становится необратимой. При снятии нагрузки устраняется лишь упругая составляющая деформации. Пластическая часть деформации остается.

Пластическая (остаточная, необратимая) деформация, остающаяся после снятия нагрузки, связана с перемещением атомов внутри кристаллов на относительно большие расстояния и вызывает остаточные изменения формы, структуры и свойств без



**Рис. 1.4. Схематическое изображение действия нормальных растягивающих напряжений на кристаллическую решетку:**

$a$  — ненапряженный кристалл;  $б$  — упругие нормальные напряжения;  $в$  — разрушение путем отрыва



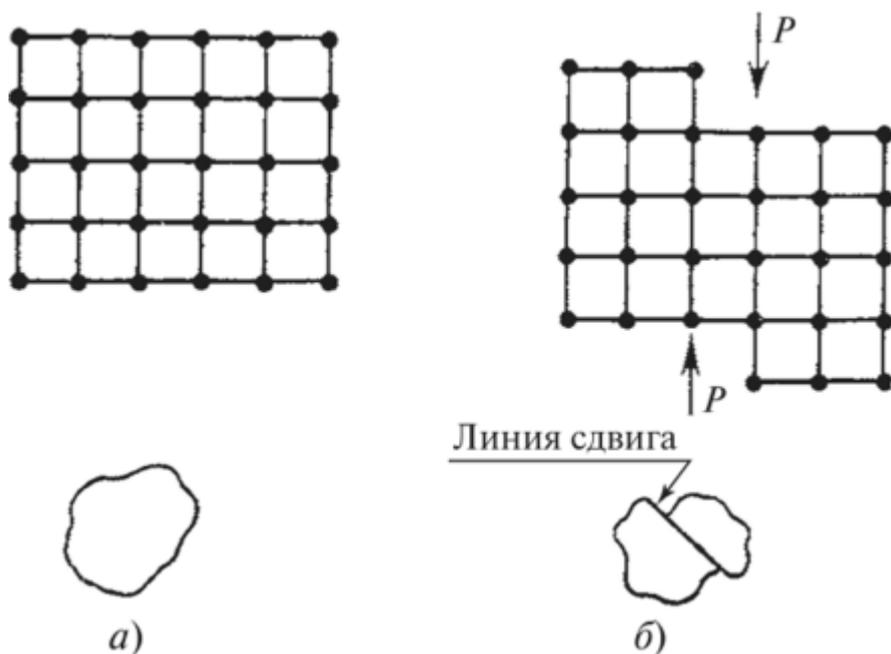
**Рис. 1.5. Схема процесса деформации металла**

роскопических нарушений сплошности металла (рис. 1.6). Пластическая деформация в кристаллах может осуществляться скольжением и двойникованием.

*Скольжение* — это смещение отдельных частей кристалла (одной части относительно другой), происходящие под действием касательных напряжений, когда эти напряжения в плоскости и направлении скольжения достигают определенной критической величины  $\tau_k$ .

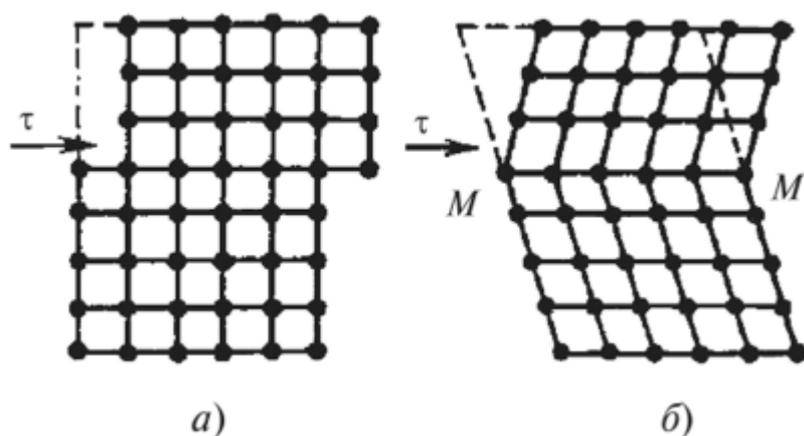
*Двойникование* — это перестройка при деформации части кристалла в новое положение, зеркально симметричное к недеформированной части кристалла относительно плоскости, называемой плоскостью двойникования  $MM$  (рис. 1.7, б).

В обоих случаях пластическая деформация происходит по определенным плоскостям и направлениям в кристаллической решетке.



**Рис. 1.6.** Схематическое изображение действия касательных напряжений на кристаллическую решетку:

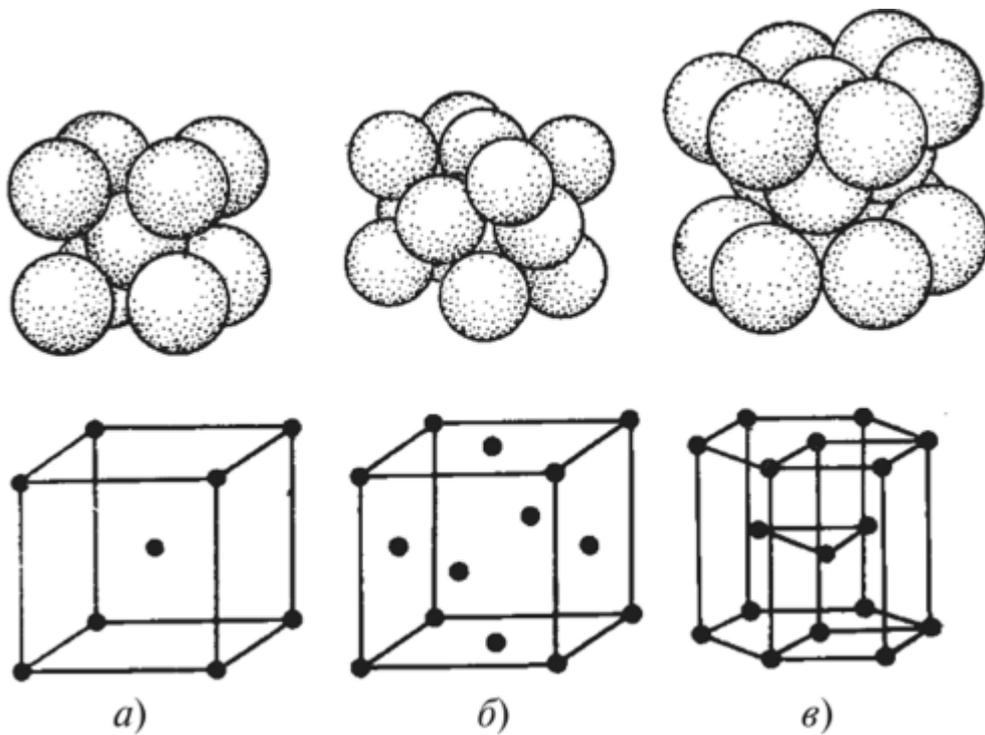
*a* — ненапряженный кристалл; *б* — пластическая деформация



**Рис. 1.7.** Схема деформации: *a* — скольжением; *б* — двойникованием

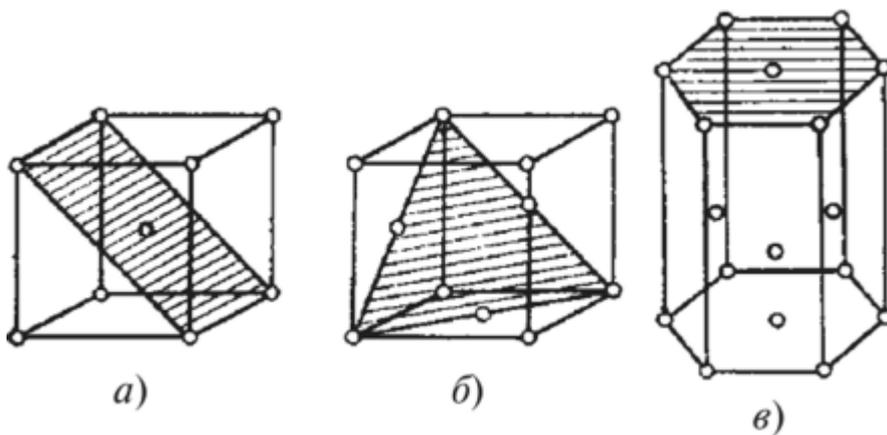
Скольжение (сдвиг) в кристаллической решетке протекает по наиболее плотно усеянным атомами кристаллическим плоскостям и кристаллографическим направлениям, где величина сопротивления сдвигу  $\tau_k$  наименьшая. Это объясняется тем, что расстояние между соседними атомными плоскостями наибольшее, а связь между ними наименьшая.

В металлах, имеющих объемно-центрированную кубическую (ОЦК) решетку (рис. 1.8, *a*), такой плоскостью сдвига будет диагональная плоскость (рис. 1.9, *a*), в гранецентрированной кубической (ГЦК) решетке (рис. 1.8, *б*) — плоскость октаэдра (рис. 1.9, *б*), в гексагональной плотно упакованной (ГПУ) решетке (рис. 1.8, *в*) — плоскость базиса (рис. 1.9, *в*).



**Рис. 1.8. Элементарные ячейки кристаллических решеток металлов:**

*a* — объемно-центрированный куб; *б* — куб с центрированными гранями; *в* — гексагональная решетка, плотно упакованная



**Рис. 1.9. Кристаллографические плоскости, по которым происходит сдвиг**

Чем больше в металле возможных плоскостей и направлений скольжения, тем выше его способность к пластической деформации. Однако сдвиг не следует представлять как одновременное передвижение одной части кристалла относительно другой. Такой сдвиг потребовал бы значительно больших напряжений, чем те, при которых в действительности протекает процесс деформации. Кристаллические решетки металлов имеют ряд дефектов, т. е. отклонений от правильного геометрического строения. Дефекты кристаллического строения подразделяются по геометрическим признакам на точечные, линейные и поверхностные.

Точечные дефекты малы, их размеры во всех трех измерениях не превышают нескольких атомных диаметров. К точечным дефектам относятся вакансии, т. е. отсутствие атома или иона в узле кристаллической решетки.

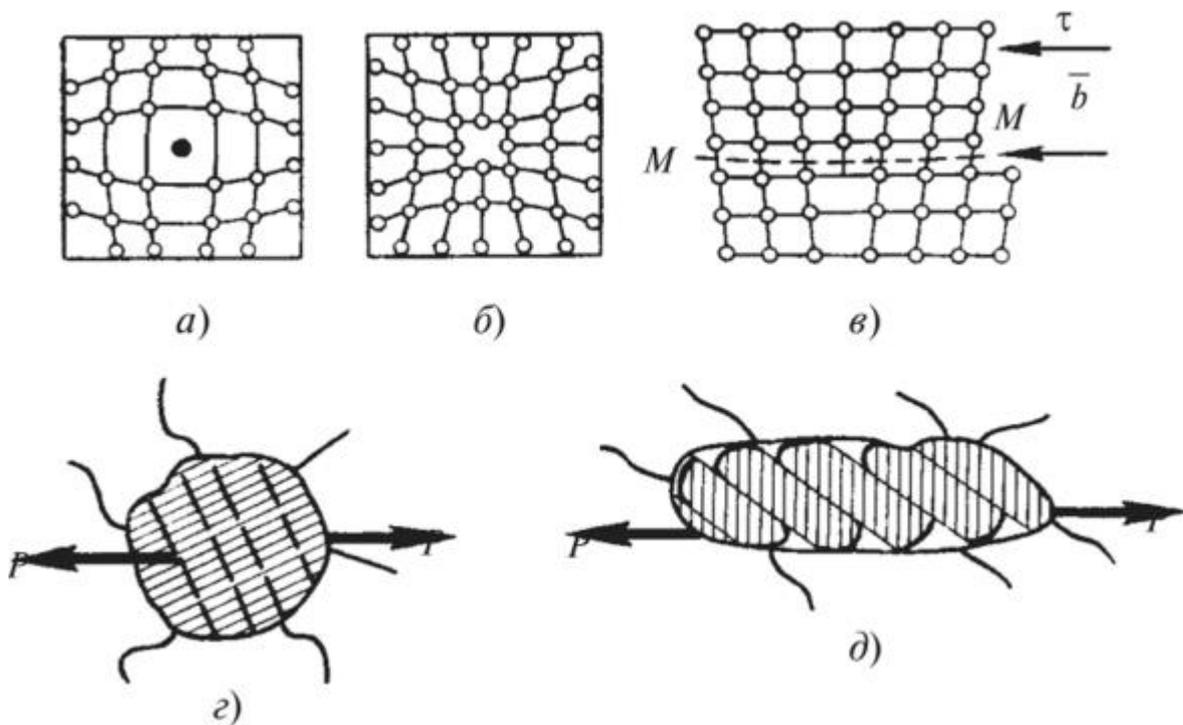
Атомы, расположенные в узлах кристаллической решетки, находятся в непрерывном тепловом движении (колебании). Они могут оставаться в положении равновесия и перемещаться внутри кристаллической решетки, могут также переходить в междоузлие или на поверхность, а иногда покинуть ее, испаряясь в окружающее пространство. В последнем случае принадлежащие этим атомам узлы окажутся свободными, т. е. возникнут тепловые вакансии. Это явление называется самодиффузией. Вышедший из равновесия атом называют дислоцированным (рис. 1.10, *а*), а оставшееся пустое место в узле кристаллической решетки — вакансией (рис. 1.10, *б*).

Точечные дефекты вызывают местное искажение кристаллической решетки, они влияют на некоторые физические свойства (электропроводность, магнитные свойства и др.), а также на фазовые превращения металлов и сплавов.

К линейным несовершенствам кристаллической решетки относятся дислокации — дефекты, имеющие в двух измерениях размеры порядка атомных, а в третьем — большой размер, который может тянуться через весь кристалл.

Краевая дислокация представляет обособленное искажение кристаллической решетки, вызванное наличием в ней «лишней» атомной полуплоскости или экстраплоскости, перпендикулярной к плоскости чертежа.

На рис. 1.10, в показана схема расположения атомов у дислокации, образованной при сдвиге верхней части кристалла относительно нижней (вектор сдвига  $b$ ) на одно межатомное расстояние, причем сдвиг охватил не всю плоскость скольжения, а только часть ее. Граница между участком, где скольжение уже произошло, и не-



**Рис. 1.10. Точечные и линейные дефекты в кристаллической решетке:**

*a* — дислоцированный атом в междоузлии; *б* — вакансия; *в* — схема расположения атомов у дислокаций; *г* — изменение формы зерна чистого металла в результате скольжения до деформации; *д* — после деформации

нарушенным участком в плоскости скольжения и будет дислокацией. Линия краевой дислокации перпендикулярна вектору сдвига и обозначается -у- или в зависимости от расположения экстраплоскости.

Дислокации образуются в процессе кристаллизации металлов (при срастании зерен и блоков) из группы вакансий, а также в процессе пластической деформации и фазовых превращений.

Вокруг дислокаций на протяжении нескольких межатомных расстояний возникают искажения кристаллической решетки.

Вакансии и дислокации не остаются неподвижными, они перемещаются по решетке.

Поверхностные несовершенства кристаллической решетки малы только в одном измерении. Они представляют собой поверхности раздела между отдельными зернами или их блоками (субзернами) поликристаллического металла.

Под действием касательных напряжений дислокация перемещается в плоскости скольжения *MM* (рис. 1.10, *в*). Перемещение дислокаций через весь кристалл приводит к сдвигу соответствующей части кристалла на одно-два межатомных расстояния.

Переход дислокаций в кристаллической решетке из одного положения в другое совершается значительно легче, чем переход атомного ряда на то же расстояние.

Дислокации в кристаллической решетке могут двигаться по плоскости скольжения при очень малых напряжениях сдвига (деформация у монокристаллов чистых металлов).

Перемещение дислокаций, образовавшихся во время кристаллизации, ограничено. Большие деформации возможны потому, что движение этих дислокаций вызывает появление большого количества новых дислокаций в процессе пластической деформации.

Дислокации, движущиеся под действием внешних сил в деформируемом металле, способствуют образованию большого количества дислоцированных атомов и вакансий.

Пластическая деформация некоторых металлов кроме скольжения может осуществляться двойникованием, которое подобно скольжению сопровождается прохождением дислокаций сквозь кристалл.

Пластическая деформация поликристаллического металла протекает аналогично деформации монокристалла вследствие сдвига (скольжения) или двойникования. Изменение формы металла при этом происходит в результате пластической деформации каждого зерна. Из-за неодинаковой ориентации зерен пластическая деформация не может протекать одновременно и одинаково во всем объеме поликристалла.

При больших степенях деформации вследствие скольжения зерна (кристаллиты) меняют свою форму. До деформации зерно имело округлую форму (рис. 1.10, г), а после деформации в результате смещений по плоскостям скольжения зерна вытягиваются в направлении действующих сил  $P$ , образуя волокнистую или слоистую структуру (рис. 1.10, д).

Под влиянием возрастания напряжений до определенной величины возникает такая остаточная деформация, при которой образуются местные трещины, а затем полное разделение тела на части, т. е. разрушение материала. Различают хрупкое и вязкое разрушения.

Хрупкое разрушение протекает под влиянием главным образом нормальных растягивающих напряжений и сводится к нарушению межатомных связей, которое приводит к разделению тела на части. При этом пластическая деформация мала и разрушение происходит по границам зерен (интеркристаллитное разрушение), а металл имеет блестящий кристаллический излом. В отдельных случаях хрупкое разрушение может проходить по телу зерна (транс-кристаллитное разрушение).

Вязкое разрушение протекает под влиянием касательных напряжений, ему предшествует значительная пластическая деформация, которая приводит к разделению тела на части. Излом в этом случае матовый волокнистый, так как разрушение происходит в результате среза внутри зерен.

В действительности же разрушение тела происходит не в результате чистого отрыва или среза, а от сложного сочетания этих двух видов разрушения. Характер разрушения определяется визуально (по виду излома). Анализ вида излома является важным методом для выяснения причины поломки деталей.

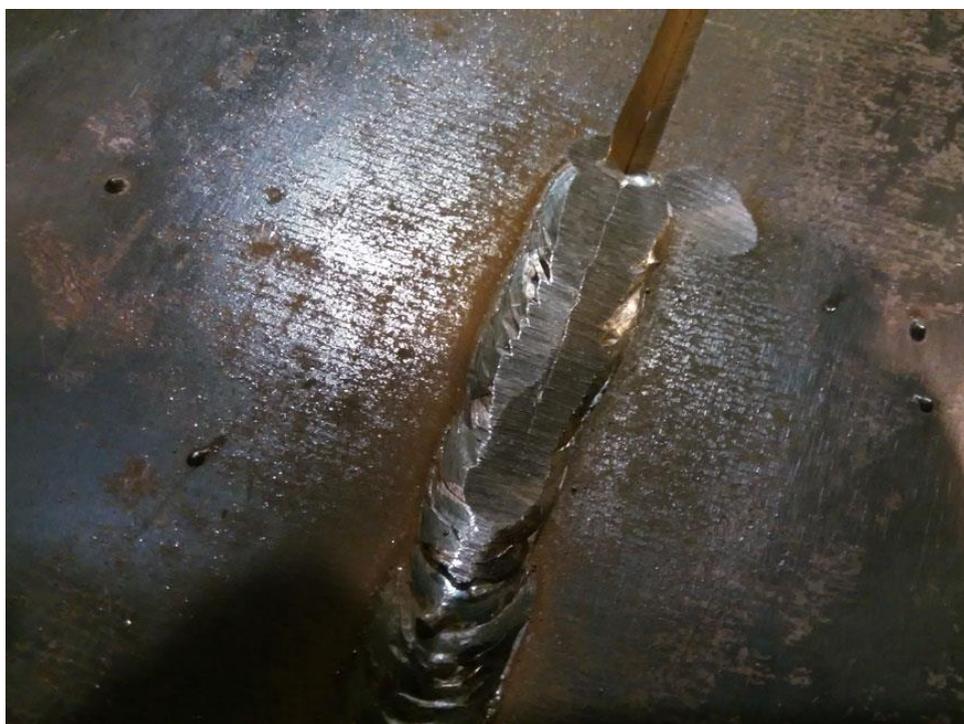
#### 41. Виды и причины сварочных деформаций

Сварка обеспечивает самое прочное и надежное соединение, если проведена правильно. Однако при нарушении технологии в конструкции возникают напряжения и деформации, вызванные сварочным процессом. Искажается форма и размеры изделия, в результате чего оно не может выполнять свои функции.

Что такое напряжение

Сварочное напряжение определяют как силу, действующую на единицу площади изделия. Оно может быть вызвано растягивающим, изгибающим, крутящим, сжимающим или срезающим усилием.

Эти силы достигают таких величин, что в процессе эксплуатации напряжения и деформации в отдельных деталях приводят к разрушению всей конструкции. Кроме этого происходит снижение антикоррозионных свойств, меняются геометрические размеры и жесткость конструкции.

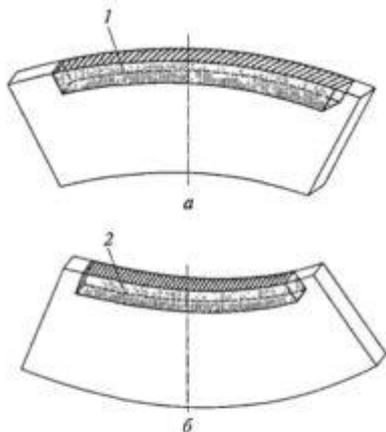


Напряжения и деформации бывают временными и остаточными. Какие сварочные деформации называют временными, а какие остаточными определяется просто. Временные появляются во время сваривания деталей, вторые появляются и остаются после окончания сварки и охлаждения конструкции.

## Причины появления

Главные причины возникновения напряжений и сварочных деформаций такие:

- неоднородный нагрев металлических заготовок;
- усадочные изменения сплава в сварном шве;
- фазовые изменения, возникающие при переходе расплавленного металла из одного состояния в другое.



Деформации и напряжения при нагреве кромки образца:  
а, б — нагрев и охлаждение верхней поверхности образца;  
1 — нагретая зона; 2 — охлажденная поверхность

Одним из свойств металлов является их способность расширяться при повышении температуры и сжиматься при охлаждении. При плавлении в области сварочного соединения появляется неоднородная термозона. Она вызывает напряжения сжимающего или растягивающего свойства. Если эти напряжения превышают предел текучести металла, то происходит изменение формы изделия, возникают остаточные деформации.

Разновидности деформаций зависят от того, в каких объемах они проявляются. Выделяют три рода. Деформации первого рода действуют в макрообъемах, деформации второго рода происходят в пределах кристаллических зерен, а третьего рода происходят в кристаллической решетке металла.

Деформации и напряжения при сварке возникают и при кристаллизации сварного шва, когда происходит усадка жидкого металла. Объем остывающего жидкого металла уменьшается, это вызывает напряжения внутри металла. Параллельно и перпендикулярно оси сварочного шва формируются напряжения, которые вызывают изменение формы изделия. Продольные силы вызывают изменения длины сварного шва, а поперечные приводят к угловым деформациям.

При превышении определенных предельных температур при сваривании углеродистых и легированных сталей происходит их структурное превращение. У них появляется другой удельный объем и изменяется коэффициент линейного расширения, что приводит к огромным сварочным напряжениям.

Самые большие из них возникают в легированных сталях. В них образуются закалочные структуры, которые при охлаждении не возвращаются к прежней структуре металла, как в большинстве случаев, а сохраняют колоссальные напряжения могущие привести к разрушению сварного шва.

Для этих сплавов разрабатываются специальные технологические процессы, снижающие остаточные напряжения и деформации.

## **Меры борьбы с деформациями и напряжениями**

Для борьбы с остаточными деформациями и напряжениями следует соблюдать следующие правила:

1. При сборке конструкций применять по возможности сборочные приспособления (стяжные планки, клинья и т.п.), обеспечивающие свободное перемещение свариваемых конструкций от усадки швов. При хватки можно применять только для стыков деталей из тонкого металла (3—5 мм) и в нахлесточных соединениях. Следует строго соблюдать размеры притуплений, зазоров и соосность элементов.
2. Выполнять необходимую последовательность сварки швов; чередование слоев двухстороннего шва (15.7,а); чередование сварки поясных швов балок (15.7,б); строго выполнять последовательность и порядок сварки швов, указанные в типовой технологии или проекте производства сварочных работ.
3. Не допускать превышения величины тепловложения в шов (увеличения силы сварочного тока по сравнению с рекомендуемой для электродов применяемого типа и диаметра).
4. Использовать жесткое закрепление деталей перед сваркой для уменьшения их деформаций (если это предусмотрено технологической запиской или инструкцией) с помощью прихваток или приспособлений; использовать вибрацию конструкций в процессе сварки для уменьшения деформаций и напряжений.
5. При сварке пластических сталей и металлов использовать проковку слоев шва непосредственно за сваркой (если это предусмотрено технологической запиской).
6. Использовать предварительный обратный выгиб листовых деталей (стенок и полок балок, листов кор

пуса резервуаров и др.) для предупреждения угловой деформации (15.8).

7. При сварке листовых резервуарных конструкций (днищ и корпусов) сперва сваривать стыки между листами, а потом стыки между полосами или поясами, при обратном порядке не исключены появление трещин в местах пересечений швов, а также увеличение коробления конструкций.

8. В необходимых случаях применять предварительный и сопутствующий подогревы.

9. Применять в необходимых случаях общую или местную термическую обработку сварных соединений.

Из перечисленных способов снижения напряжений и деформаций обязательными для сварщика являются правила, указанные в п.п. 2, 3 и 7, остальные следует применять по указанию руководителя сварочных работ или если они предусмотрены техническими условиями, а также другими технологическими документами.

Правка деформированных после сварки конструкций широко применяется на заводах и мастерских при недопустимом искажении формы и размеров конструкций.

Различают три метода правки: механическую, термическую и термомеханическую.

Механическая правка основана на образовании пластических удлинений в зоне сварных соединений, вследствие чего устраняются деформации. Примерами механической правки могут быть: устранение «грибовидности» сварных балок, образовавшейся после сварки поясных швов (15.9, а), путем изгиба полка специальным приспособлением; устранение серповидного изгиба листа после термической резки одной его кромки, что вызвало деформацию, путем прокатки листа на вальцах с подкладкой полосы на поверхность листа для пластической деформации укороченной после резки зоны (15.9,б). Может быть много примеров механической правки с использованием проковки, осадки под прессом, изгиба и т. п. с целью вызвать деформации, противоположные сварочным.

Термическую правку производят путем местного нагрева тех зон, усадка которых устраняет остаточные сварочные деформации. Таким образом может быть устранена серповидность листа (15.10, а) или остаточная деформация изгиба сварного тавра (15.10,б).

Иногда применяют комбинированный термомеханический метод для ликвидации выпучины («хлопу-на») в тонколистовой стали (15.10, в). Для этого нагревают до температуры 700—800 °С по окружности эту выпучину, а затем простукивают ее равномерно деревянным молотком, подложив с другой стороны плиту или какую-нибудь другую поддержку, что облегчит пластическую деформацию металла и устранение выпучины.

Способы уменьшения сварочных деформаций и напряжений

Сварочные деформации вследствие изменения размеров и формы конструкций существенно затрудняют их сборку, ухудшают внешний вид и эксплуатационные качества. Сварочные напряжения снижают сопротивляемость сварных конструкций разрушению, особенно при воздействии циклических нагрузок и агрессивных сред. Поэтому применяют различные способы уменьшения или устранения сварочных деформаций и напряжений.

Мероприятия по уменьшению деформаций и напряжений могут осуществляться на разных стадиях изготовления конструкции: до сварки — на стадии проектирования конструкции и технологии производства, во время и после сварки.

Мероприятия, применяемые преимущественно для снятия сварочных напряжений, влияют на деформации и, наоборот, мероприятия, применяемые преимущественно для уменьшения деформаций, влияют на величину напряжений. Рассмотрим основные способы уменьшения сварочных деформаций и напряжений.

Уменьшение остаточных сварочных напряжений. Способы уменьшения остаточных напряжений делят на термические, механические и термомеханические. Наиболее эффективно снятие остаточных напряжений способами, осуществляемыми после сварки.

К термическим способам относят предварительный и сопутствующий подогрев во время сварки и высокий отпуск после сварки.

Подогрев снижает предел текучести металла в момент сварки, что и влияет на формирование и величину остаточных напряжений. Снижение напряжений при низкотемпературном подогреве (до 200—250 °С) составляет ориентировочно не более 30—40%.

Общий высокий отпуск является наиболее эффективным методом уменьшения остаточных напряжений, так как позволяет снизить напряжения на 85—90% от исходных значений и одновременно улучшить пластические свойства сварных соединений. Высокий отпуск состоит из нагрева (для стали до температуры около 650 °С), выдержки (2—4 ч) и медленного охлаждения.

Местный отпуск применяют для снятия пиковых величин остаточных напряжений и восстановления пластических свойств сварных соединений. При местном отпуске нагревают до заданной температуры лишь часть конструкции.

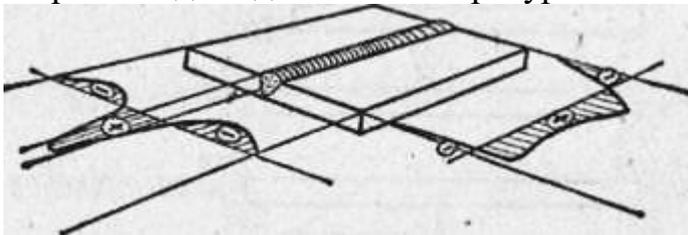


Рис. 1. Распределение остаточных сварочных напряжений в стыковом соединении

Поэлементный отпуск состоит в том, что при монтаже крупно габаритных конструкций подвергают отпуску отдельные узлы конструкции, включающие зоны и элементы, где отпуск необходим а затем эти узлы сваривают между собой чаще всего встык с полным проваром без концентраторов. Обычно в этих соединениях предусматривают снятие напряжений местными способами (термическими или механическими).

Механические способы (проковка, прокатка, вибрация, взрывная обработка, ультразвуковая обработка, приложение нагрузки к сварным соединениям) основаны на создании пластической деформации металла сварных соединений, вследствие чего происходит снижение растягивающих остаточных напряжений.

Металл проковывают непосредственно после сварки по горячему металлу или после его остывания. Основное преимущество этого метода заключается в простоте применяемого оборудования, универсальности и оперативности.

Прокатка обеспечивает более равномерную пластическую деформацию металла по сравнению с проковкой и в основном предназначена для устранения остаточных деформаций.

Приложение нагрузки к сварным соединениям осуществляют растяжением или изгибом элементов. Суммирование остаточных и приложенных напряжений вызывает пластические деформации удлинения и после снятия нагрузки снижение максимальных напряжений.

Наряду с рассмотренными механическими методами для снятия напряжений начинают использовать вибрацию, ультразвуковую и взрывную обработку.

Термомеханические способы основаны на одновременном протекании тепловых и механических процессов.

Способы уменьшения сварочных деформаций. Все мероприятия по уменьшению деформаций можно разделить на три группы в зависимости от того, применяют ли их до сварки, в процессе сварки или после нее.

Мероприятия, применяемые до сварки.

1. Рациональное конструирование сварного изделия, которое включает: – уменьшение количества наплавленного металла и соответственно количества вводимого при сварке тепла за счет уменьшения сварных швов и их сечений; – избежание скоплений и перекрещиваний швов; – симметричное расположение швов для уравнивания деформаций; – симметричное расположение ребер жесткости, накладок, косынок и т. д. и их минимальное использование.

2. На стадии разработки технологии целесообразно предусматривать: – размеры и форму заготовок с учетом величины возникающих при сварке усадок; – предварительную деформацию заготовок, которая была бы противоположной ожидаемой сварочной деформации; – правильный выбор вида сварки, учитывая, что деформации при ручной сварке, как правило, больше, чем при автоматической, а деформации при сварке под флюсом больше, чем при сварке в углекислом газе.

Мероприятия, применяемые в процессе сварки: – снижение погонной энергии при назначении более экономичных режимов; – искусственное охлаждение зоны сварки, например, водой, водо-охлаждаемыми медными накладками и т. д. для уменьшения зоны нагрева и соответственно сварочных деформаций; – закрепление свариваемых изделий в жестких приспособлениях; применение многослойных швов вместо однослойного, проковка швов после каждого прохода; – рациональная последовательность сварки для уравнивания деформаций, применение обратноступенчатого способа сварки, заключающегося в том, что всю длину шва разбирают на отдельные ступени и сварку каждой ступени выполняют в направлении, обратном общему направлению сварки.

Мероприятия, применяемые после сварки: механическая правка сварных изделий для создания пластических деформаций, обратных сварочным, путем растяжения, изгиба, местного деформирования проковкой, прокаткой роликами, осадкой металла по толщине под прессом и др.; – тепловая правка местным нагревом. Расширяющийся при местном нагреве металл осаживается прилегающим холодным металлом, поэтому после охлаждения размеры нагретого участка уменьшаются, что приводит к устранению местных деформаций (хлопунов, выпучин и т. д.); – высокий отпуск деталей в зажимных приспособлениях.

## 42. ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФОРМИРОВАННЫХ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Исправление деформированных сварных конструкций можно выполнить двумя способами: механическим или термическим.

Механическую правку на предприятиях производят на прессах с гидравлическим, пневматическим, механическим и ручным приводом.

При отсутствии прессов правку можно проводить вручную: с помощью молотков, кувалды, зубила, лома, домкрата и т.п.

Вследствие наклепа (нагартовки) металла в результате правки ударами молотка или кувалды резко снижается пластичность металла. В связи с этим такой способ правки не рекомендуется.

Термическая правка осуществляется с помощью местного нагрева деформированного участка. Нагревать можно газовой горелкой. Температура нагрева для стали 300-670°C.

Особенно усиливается эффект термической правки, если после нагрева детали произвести проковку (простукивание) деревянным или металлическим молотком. Следует помнить, что удары необходимо сначала наносить вокруг нагретого участка, после чего обработать сам участок.

После нагрева и обработки нескольких участков рекомендуется нанести удары в месте вспучивания.

В отдельных случаях, для облегчения появления пластических деформаций, температуру нагрева следует довести до 800-900°C.

Ширина зоны нагрева должна составлять за один проход 0,5-2 толщины испаряемого металла.

Во всех случаях нагрев следует вести с выпуклой стороны и начинать необходимо от центра выпуклости.

Недостаток термической правки заключается в повышенной хрупкости металла изделия, снижении сопротивления усталости.

Из-за этого термическую правку не применяют при изготовлении барабанов, котлов и сосудов, работающих под давлением.

Сварка деталей и узлов в закреплённом состоянии в приспособлениях значительно уменьшает деформации, однако при этом сильно возрастают сварочные напряжения.

После того как сварной узел освобождают от приспособления, в котором он был закреплён, появляются деформации от усадки швов. Уменьшение деформаций при

сварке в закреплённом состоянии объясняется тем, что при нагреве до высоких температур происходит пластическая деформация.

Создание сварной конструкции связано со сложными процессами, происходящими при сварке: разнообразной формой и размерами соединений свариваемых деталей; свариваемыми и сварочными материалами; условиями закрепления деталей при сварке способами сварки и др. В этой связи трудно понять роль сварочных напряжений в причинах повреждений и аварий сварных конструкций. Этот вопрос до конца не изучен.

Вместе с тем следует отметить, что сварочные напряжения в конструкциях из пластичных материалов не снижают эксплуатационной прочности сварных конструкций ни при статической, ни при вибрационной, ни при ударной нагрузках.

Сварочные напряжения могут отрицательно сказаться на прочности сварной конструкции, повысить вероятность ее разрушения, если конструкция выполнена из хрупкого металла или если пластичный материал в результате каких-либо причин переведен в хрупкое состояние.

Правильно выбранные типы соединений, свариваемые и сварочные материалы, а также хорошее качество сварки исключают отрицательное влияние сварочных напряжений на прочность и надежность сварной конструкции.

### *Деформация и напряжение при сварке сталей, чугуна и цветных металлов*

При выборе метода уменьшения деформаций и напряжений, возникающих в процессе сварки, следует учитывать марку свариваемого металла.

При сварке пластин из углеродистой стали зазор необходимо делать значительно меньше, чем при сварке медных пластин.

При сварке медных пластин из-за большого линейного и объемного расширения меди при маленьком зазоре в конце сварки пластины будут накладываться одна на другую. Если же их до начала сварки жестко закрепить, то в этом случае возникнут значительные остаточные напряжения и деформации.

При сварке пластин из легированной стали из-за изменения объема металла при изменении структуры могут возникнуть силы сжатия, если увеличатся

объем или силы растяжения при уменьшении объема. Поэтому при сварке легированных сталей необходимо стремиться к уменьшению объема наплавленного металла и выполнять сварочные работы таким образом, чтобы было меньше закреплённых частей свариваемой конструкции. Свобода частей свариваемой конструкции уменьшит возникновение внутренних напряжений.

При сварке чугуна деформаций не возникает, потому что при образовании значительных внутренних напряжений образуются трещины.

Для уменьшения деформаций и внутренних напряжений при сварке цветных металлов, имеющих значительный коэффициент линейного и объемного расширения, необходимо увеличивать зазор между свариваемыми кромками и уменьшать объем наплавленного металла, а также потребуются жесткое закрепление свариваемых деталей.

### **43. Классификация видов контроля качества сварных швов и сварных изделий.**

Все виды контроля качества сварки можно разделить на две основные группы:

1) неразрушающие виды контроля и 2) разрушающие виды контроля.

Неразрушающие виды контроля предназначены для выявления как наружных, так и внутренних дефектов. Обычно наружные дефекты выявляются внешним осмотром с использованием мерительного инструмента, а внутренние определяются физическими методами исследования — просвечиванием рентгеновским и гамма-излучением, ультразвуком, магнитным методом и др. Неразрушающий контроль заключается в том, что сварной образец или изделие подвергается действию соответствующих физических импульсов. Дефект обнаруживается по искаженному ответному импульсу от проверяемого шва.

Некоторые из физических методов контроля качества металла обладают хорошей, а другие слабой чувствительностью по отношению к дефектам сварки.

С целью выявления наружных дефектов наиболее часто применяют следующие виды контроля:

– испытание с помощью проникающих жидкостей; магнитные испытания; испытания ультразвуком (редко).

Для выявления внутренних дефектов применяют следующие неразрушающие виды контроля:

– радиационные виды контроля (рентгеновским и гамма-излучением);

– ультразвуковой вид контроля;

– контроль магнитным порошком или магнитной лентой; проницаемостью газом или жидкостью.

Разрушающие виды контроля предназначены для определения характера, места расположения и размеров дефектов и их влияния на работоспособность сварных соединений. Разрушающий контроль осуществляется сверлением, технологической пробой, механическими испытаниями на растяжение, изгиб, срез, удар, твердость; металлографическим исследованием макро-и микроструктуры сварных соединений, иногда гидравлическим или пневматическим испытанием сварных изделий с разрушением их.

### **Общие сведения о визуальном и измерительном контроле**

Неразрушающий контроль сварных соединений обычно начинают с проведения визуального и измерительного контроля (ВИК) в целях оперативного обнаружения поверхностных несплошностей и геометрических отклонений формы. В процессе

изготовления и монтажа сварных конструкций осуществляют систематический контроль качества производства сварочных работ: входной, операционный контроль и контроль готовых сварных соединений. Задачей ВИК полуфабрикатов (входной контроль) является подтверждение их геометрических размеров, выявление и измерение параметров поверхностных несплошностей. Предельные значения измеряемых параметров (толщина стенки, диаметр, овальность, прямолинейность, минимальная толщина и форма поверхности в месте устранения поверхностного дефекта и пр.) определяются в соответствии с требованиями документов, указанных в сертификате на полуфабрикаты. Входной контроль проводится в соответствии с разработанной программой, в которой определяются объемы и способы контроля. Как правило, ВИК подлежит не менее 10% длины сварных соединений. При операционном контроле проводится ВИК на стадиях сборки и сварки. Подготовка изделий под сварку оказывает важное влияние на качество сварного соединения. Основными этапами проверки являются: контроль чистоты поверхности, геометрических размеров разделки шва, форма обработки внутренних поверхностей кольцевых деталей, материал и форма подкладных колец и расплавляемых вставок, качество прихваток. Недопустимо в разделке шва и на прилегающей к ней поверхности наличие влаги, ржавчины, окалины, масел, краски и других загрязнений. Поверхности кромок не должны иметь надрывов, трещин, значительных шероховатостей и неровностей. От качества подготовки и соблюдения геометрических размеров разделки в значительной степени зависит качество сварного соединения и производительность сварочных работ. Например, в результате завышения угла скоса кромок происходит перерасход наплавленного металла, возрастают деформации и коробление свариваемых элементов вследствие большой зоны и интенсивного разогрева и более заметного влияния усадки сварочной ванны. Уменьшенный угол скоса затрудняет надежное проплавление вершины угла разделки и приводит к не провару в корне шва. Увеличение размера притупления кромок приводит к не провару, а его уменьшение – к прожогам. Уменьшение зазора обычно приводит к не провару, а чрезмерное увеличение – к прожогам. ВИК подготовки и сборки деталей подлежат не менее 20% деталей и соединений из числа представленных к приемке. Сборочные прихватки выполняются теми же сварочными материалами, что и основной шов. При проверке качества прихваток следует обращать внимание на их количество, протяженность и высоту. Загрязненные, с не удаленным шлаком прихватки могут привести к шлаковым включениям в металле шва, а прихватки большой высоты – к не проварам. Большинство документов регламентируют удаление прихваток абразивным инструментом в процессе сварки корневого шва. Все детали при сборке под сварку очищают в местах наложения швов по внешней и внутренней поверхности листов и труб на ширину не менее 20 мм. Контроль наложения корневого и заполняющих слоев многопроходного сварного шва выполняется визуально. Особое внимание необходимо уделять качеству выполнения корневого слоя, который оказывает наибольшее влияние на прочность всего сварного соединения. Внимательный контроль корневого слоя помогает распознавать расслоение свариваемых деталей, раскрытие которого увеличивается под действием

температурных деформаций. Важно контролировать зазор между свариваемыми кромками, величина которого может изменяться при сварке корневого шва. ВИК готового сварного соединения является первой операцией по приемке готового узла или изделия. Этому контролю подлежат все сварные соединения независимо от того, какими методами контроля они будут испытаны в дальнейшем.

### **Условия проведения ВИК готового сварного соединения**

Освещенность поверхности, подвергаемой контролю, для надежного выявления дефектов должна составлять не менее 500 лк. Освещенность должна измеряться при помощи люксметра в зоне контроля в месте с наихудшей освещенностью.

Перед проведением визуального и измерительного контроля поверхность сварного соединения зачищают до чистого металла от продуктов коррозии, окалина, грязи, краски, масла, влаги, шлака, брызг расплавленного металла и других загрязнений, препятствующих проведению контроля (на контролируемых поверхностях допускается наличие цветов побежалости в случаях, когда это оговорено в документации по контролю). При зачистке материалов и сварных швов из аустенитных сталей и высоконикелевых сплавов применяют щетки, изготовленные из нержавеющей нагартованной проволоки.

Шероховатость зачищенной поверхности должна быть не более Ra 12,5 мкм (Rz 80 мкм) по ГОСТ 2789, что проверяется при помощи профилометров или образцов шероховатости сравнения по ГОСТ 9378-93.

Металл зачищают на расстоянии не менее 20 мм от сварного шва и на всей площади осмотра при контроле основного металла. Объект контроля следует осматривать с расстояния зрения от 250 до 350 мм, при невозможности обеспечить осмотр всего объекта с расстояния наилучшего зрения — от 200 и до 600 мм. Подлежащая контролю поверхность должна рассматриваться под углом более 30° к плоскости объекта контроля.

Зона контроля должна включать в себя как сварной шов, так и зону термического влияния, в которой возможно возникновение трещиноподобных дефектов. В большинстве случаев, ширина зоны термического влияния принимается равной толщине свариваемых кромок, но данное значение необходимо уточнить в соответствии с требованиями методических документов по ВИК на конкретный объект контроля.

### **Последовательность проведения ВИК готового сварного соединения**

Перед началом проведения ВИК выполняется разметка сварного соединения несмываемым маркером (маркером по металлу), обеспечивающим сохранение маркировки до окончания приемки контролируемого сварного соединения. При разметке сварного соединения задают начало координат и направление отсчета. При проведении визуального осмотра сварного соединения следует контролировать:

- наличие маркировки шва (нанесенной несмываемым маркером) и правильность её

выполнения;

- наличие клейма сварщика (бригады сварщиков);
- отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений следующих дефектов: поверхностных трещин всех видов и направлений, включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, непроваров, брызг расплавленного металла, незаваренных кратеров; прижогов металла в местах касания сварочной дугой поверхности основного металла.

При визуальном осмотре технических устройств необходимо также обращать внимание на соответствие расположения различных элементов требованиям конструкторской документации. Примером подобных несоответствий объектах трубопроводного транспорта (рис. 2) могут служить соединительные детали заводского изготовления (сварные секционные отводы, переходники и пр), косые стыки труб, заплата, несоосные или неперпендикулярные врезки.



а



б



в



г

Рис 2. Примеры дефектов трубопроводов, обнаруживаемых при визуальном осмотре: а – сварные секционные отводы, б – сварные переходники, в – приварка патрубка без усиливающего воротника, г - заплата

По результатам визуального осмотра несмываемым маркером необходимо отметить дефектные участки и участки, для оценки качества которых требуется провести измерительный контроль.

Измерительный контроль сварного соединения, осуществляется для:

- измерения величины смещения кромок, свариваемых элементов;
- проверки геометрических параметров формы сварного шва (высота, ширина шва, плавность перехода, вогнутость корня и пр.);
- измерения чешуйчатости сварного шва;
- измерения глубины межваликовой канавки («западания»);
- определения координат и протяжённости поверхностных дефектов, выявленных при визуальном контроле;
- измерения глубины и протяжённости подрезов, участков неполного заполнения разделки;
- размеров катетов угловых сварных соединений;
- размеров, характеризующих взаимное положение свариваемых деталей или их элементов (расстояние между продольными швами при сварке труб, перелом оси, угол между сваренными элементами и т.п.).

Высота и ширина сварного шва должна определяться не реже, чем через один метр по длине соединения, но не менее чем в трех сечениях, равномерно расположенных по длине шва. При этом измерения выполняют, в первую очередь, на участках шва, вызывающих сомнение по результатам визуального осмотра. Высота усиления и величина вогнутости стыкового шва оценивается по максимальной высоте (глубине) расположения поверхности шва от уровня расположения наружной свариваемой поверхности. Если уровни поверхности деталей отличаются друг от друга, измерения следует проводить относительно детали, расстояние от которой до точки максимальной выпуклости/вогнутости шва является наименьшим. В том случае, когда выполняется сварка деталей с различной толщиной стенки и уровень поверхности одной детали превышает уровень поверхности второй детали, оценку выпуклости (вогнутости) поверхности шва выполняют относительно линии, соединяющей края поверхности шва в одном сечении. Измерение глубины западаний между валиками при условии, что высоты валиков отличаются друг от друга, должно выполняться относительно валика, имеющего меньшую высоту. Аналогично следует определять и глубину чешуйчатости (по меньшей высоте двух соседних чешуек).

### **Внешний осмотр и обмеры сварных швов .**

**Внешний осмотр и обмеры сварных швов** и соединений являются первыми контрольными операциями по приемке готового сырья узла или изделия. Им подвергают все сварные швы независимо от того, как они будут испытаны в дальнейшем.

Внешним осмотром выявляют такие наружные дефекты, как непровары, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, подрезы, трещины, поверхностные поры, смещение свариваемых деталей.

**Перед осмотром** сварной шов и прилегающую к нему поверхность основного металла на ширине не менее 20 мм по обе стороны шва очищают от шлака, застывших брызг металла, окалины и других загрязнений. Швы осматривают невооруженным глазом или применяя лупу с увеличением до 10 раз по всей их протяженности и (в случае доступности) обязательно с двух сторон. При недостаточном освещении используют карманные фонари или переносные электрические лампочки. Хорошо выполненный сварной шов имеет плавный переход к основному металлу, без наплывов и подрезов, а также равномерную ширину и высоту на всей длине.

**По внешнему виду шва** можно установить причину появления тех или иных дефектов. Так, при малом токе шов получается слишком высокий, с закругленными краями и неглубоким проваром; завышенный ток ведет к неровностям краев шва и появлению подрезов. При сварке длинной дугой происходит интенсивное разбрызгивание металла и шов неодинаков по ширине. Неравномерные чешуичатость, ширина и высота шва указывают на нарушения режима сварки и частые обрывы дуги. В этих случаях возможны непровары и поры.

Особенно тщательно **осматривают незаваренные кратеры**, так как в них наиболее часто образуются трещины и поры. При обнаружении трещин их границы выявляют шлифовкой дефектного места наждачной бумагой и травлением 20%-ным раствором азотной кислоты, а в отдельных случаях засверливанием или подружкой зубилом. Мелкие трещины обнаруживают при нагревании сварного соединения до вишнево-красного цвета, когда они ярко выделяются на светлом фоне нагретого металла.

Осматривая швы на сталях, склонных к закалке, необходимо обращать внимание на характер распределения нагара по поверхности деталей. Металлическая пыль и частицы окалины под действием магнитных полей, возникающих при прохождении сварочного тока, скапливаются над трещиной в виде продолговатого бугорка. Эти места следует осматривать особенно тщательно. Трещина в шлаке часто указывает на наличие трещины в шве.

**Внешний осмотр сварных швов на легированных сталях** с целью выявления трещин выполняют дважды: сразу же после сварки и спустя 15—30 дней. Это объясняется тем, что структурные изменения в легированных сталях происходят медленно, и трещины могут появиться после того, как изделие уже осмотрено.

**Обнаруженные трещины** разделяют до основного металла, после чего их заваривают и проводят повторный контроль шва.

Результаты внешнего осмотра позволяют предположительно судить о местах расположения внутренних дефектов и их характере. Так, например, подрез на

одной из сторон шва и наплыв на другой указывают на возможный непровар по его кромке; грубая чешуйчатость с закатами шва и ноздреватость свидетельствуют о повышенной пористости шва и загрязненности его неметаллическими включениями; непостоянная ширина шва часто является следствием неравномерной ширины зазора между свариваемыми кромками. В местах же с малым или очень большим зазором могут быть непровары, о наличии которых судят по перекосам, смещению кромок, большой высоте шва и мелким кратерам.

В некоторых случаях при внешнем осмотре применяют эталоны, по которым оценивают качество сварных швов изделия.

### **Обмеры сварных швов**

**Качество сварного соединения** в значительной мере характеризуется размерами сварных швов. Недостаточное сечение шва уменьшает его прочность, завышенное — увеличивает внутренние напряжения и деформации в нем.

Для проверки размеров сечения у стыковых швов измеряют их ширину, высоту усиления и размер обратной подварки; в угловых швах, соединениях внахлестку и втавр, — катет шва. Значения этих величин, а также допускаемые отклонения устанавливаются техническими условиями или ГОСТами.

**Размеры сварного шва** контролируют измерительным инструментом с точностью измерения  $\pm 0,1$  мм или специальными шаблонами, имеющими вырезы под определенный шов, размер которого указан (выбит) на шаблоне.

Кроме того, есть предельные шаблоны с наибольшими (проходными) и наименьшими (непроходными) контрольными вырезами. Количество таких шаблонов должно соответствовать номенклатуре сварных швов и типов сварных соединений.

Удобно применять универсальные шаблоны, пригодные как для обмера швов, так и для проверки правильности подготовки кромок под сварку.

Ширину стыкового шва контролируют штангенциркулем, а шаг прерывистого шва — обычной металлической линейкой или складным метром.

Степень коробления изделия в процессе сварки и после нее определяют с помощью линеек, индикаторов, прогибомеров и тензометров.

**Обязательному контролю** подлежит уровень поверхности сваренных

деталей. Для этой цели используют прибор, состоящий из штанги, рамки, стопорного винта, ножки и основания. При совпадении нулевых штрихов линейки и нониуса базовая поверхность основания и поверхность ножки находятся в одной плоскости. Прибор устанавливают основанием на одну из свариваемых деталей и ножкой — на вторую. Смещение поверхностей деталей по высоте отсчитывают на линейке от места совпадения штрихов ее шкалы и нониуса. Прибор прост в изготовлении и эксплуатации. Его использование сокращает длительность замеров и повышает точность измерения.

Вопрос о том, в какой степени допустимы те или иные дефекты выявляемые внешним осмотром и обмерами сварных швов, оговаривается в технических условиях на изготовление изделий.

### Средства ВИК

Визуальный осмотр сварных соединений проводят невооруженным глазом и с применением оптических приборов (луп, эндоскопов, зеркал и др.). Лупы должны быть с увеличением от 4 до 7 раз. Для измерения параметров обнаруженных отклонений формы и поверхностных дефектов используют средства измерения, погрешность которых позволяет осуществлять измерения искомой величины в соответствии с табл. 2.

Диапазон измеряемой величины, мм	Погрешность измерений, мм
до 0,5 вкл.	0,1
свыше 0,5 до 1,0 вкл.	0,2
свыше 1,0 до 1,5 вкл.	0,3
свыше 1,5 до 2,5 вкл.	0,4
свыше 2,5 до 4,0 вкл.	0,5

ТАБЛИЦА 2. ДОПУСТИМАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ВИК

Для проведения оперативных измерений геометрических параметров выявленных поверхностных дефектов и отклонений формы при проведении ВИК используют специализированные шаблоны, примеры которых приведены на рис. 3.

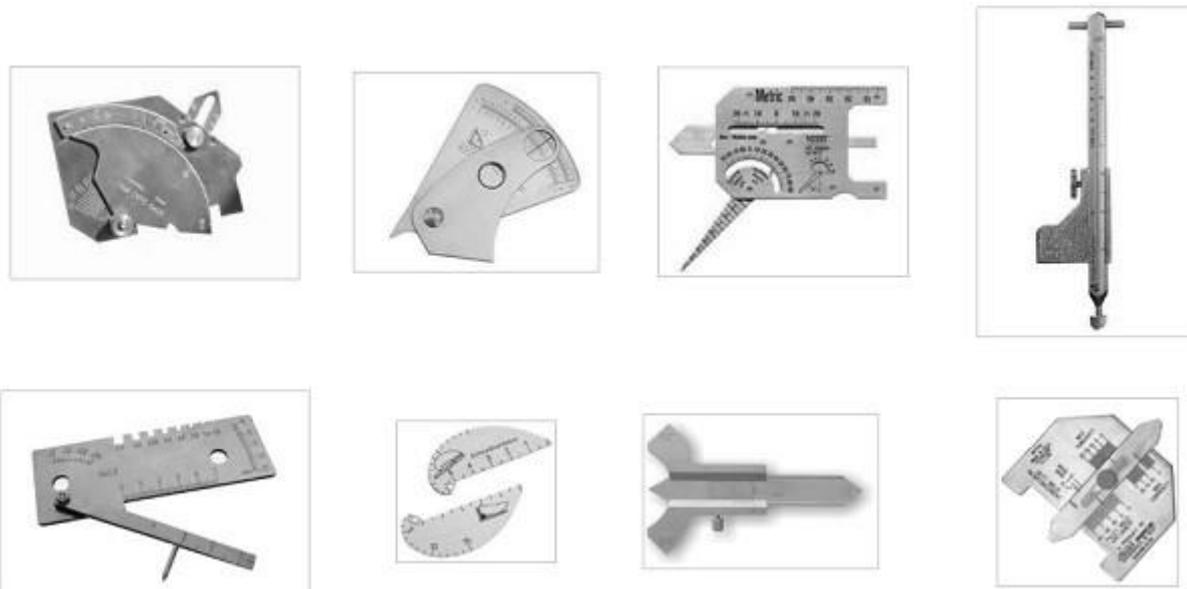


Рис. 3. Примеры шаблонов, применяемых при измерительном контроле качества подготовки под сварку и готовых сварных соединений

В настоящее время разработан универсальный шаблон специалиста неразрушающего контроля (рис. 4), который позволяет определить более 30 различных параметров сварных соединений, и предназначен для замены большинства ранее используемых шаблонов.



Рис. 4. Универсальный шаблон специалиста неразрушающего контроля

## Контроль сварочного оборудования



Сварочные работы могут производиться лишь при помощи исправных, правильно настроенных устройств. На предприятиях за состоянием всей используемой техники отвечают сварщики (сборщики) – каждый день в начале смены они оценивают все необходимые показатели. Мастера по сварке (либо другие инженерно-технические специалисты) проводят еженедельные проверки, а электрики и наладчики занимаются профилактическим осмотром раз в месяц. Если речь идет о более сложных устройствах, проверки могут производиться с большей периодичностью в соответствии с инструкциями. Далее вы узнаете о том, как именно проводится контроль сварочного оборудования.

## Контроль сварочного оборудования: что это значит



На каждом предприятии существует своя система планово-предупредительного ремонта (ППР) техники, предназначенной для сварки. Она представляет собой совокупность организационно-технических мероприятий, цель которых состоит в контроле, обслуживании и ремонте конкретных устройств. Отметим, что все подобные действия проводятся по заранее сформированному плану. Последний предполагает профилактические осмотры и ремонтные работы, то есть малые (текущие) и средние ремонты.

Текущим ремонтом занимаются непосредственно на рабочем месте, тогда как для среднего ремонта устройство отправляют в мастерские предприятия. Между ремонтными работами обязательно проводят профилактические осмотры, причем межосмотровый цикл составляет 150–200 часов. Тогда как между ремонтами проходит 900–1 000 часов. Также существует понятие «полный ремонтный цикл», он представляет собой время от начала использования системы до первого капитального ремонта. Допустим, для механизированной сварочной техники, этот показатель составляет 13-14 тысяч часов.

Своевременный контроль позволяет убедиться в работоспособности оборудования. В процессе осмотров сварочных аппаратов оценивают такие характеристики, как состояние токоподводящих проводов, электрических контактов, исправность регулирующих механизмов, износ подающих устройств, зазоры в кинематических системах, состояние защитных устройств, токоподводящих элементов, пр.

В устройствах, используемых для контактной сварки, обязательно осуществляют контроль состояния систем подачи воды и воздуха, электрических контактов в сварочном контуре, степень износа рабочих поверхностей электродов и роликов, пр.



Когда речь идет о работе со сборочно-сварочным оборудованием, например, для дуговой сварки, осуществляют контроль поверхности прижимных элементов,

состояния и формы используемых при сварке подкладок, исправности теплоотводящих устройств, работоспособности приводов, пр.

При осмотре любой контрольно-измерительной аппаратуры метрологическая служба предприятия сравнивает показания систем с результатами эталонных средств измерения. Данная операция носит название метрологической поверки.

Однако контроль сварочного оборудования производится не только в процессе эксплуатации. Ему обязательно подвергаются все новые устройства, оснастка. Специалисты предприятия должны убедиться, что поступившая техника соответствует техническим параметрам, указанным в паспорте. В последний вносятся изменения после того, как был произведен капитальный ремонт и оборудование прошло аттестацию.

Чтобы оборудование было допущено к эксплуатации, для него оформляется соответствующий акт. Далее данная бумага хранится у сварщика или наладчика, поскольку именно эти специалисты отвечают за исправность и безаварийную работу оборудования в периоды между плановыми ремонтами. Для устройств, используемых во время сварки, на предприятии сформированы нормы обслуживания одним наладчиком.

Результаты каждого осмотра, ремонта заносятся в журналы, предусмотренные системой ППР.

Отметим, что с 2003 г. действует РД 03-614-03, фиксирующий порядок использования сварочного оборудования в процессе изготовления, установки, ремонта, реконструкции технических устройств на опасных производственных объектах.

### **Виды контроля сварочного оборудования и приборов**

Процедуры техобслуживания, их периодичность устанавливаются действующими нормами, а также правилами. При этом нужно понимать, что есть как единые правила для контроля различного оборудования, так и отдельные для каждого вида.

Поскольку электросварочные аппараты являются электроустановками, работа с ними, как и техническое обслуживание, осуществляется на основе актуальных Правил технической эксплуатации электроустановок потребителей.

**По данным нормам контроль сварочного оборудования предполагает такие шаги:**

- визуальный осмотр устройств;
- проверку при помощи включения в режиме холостого хода минимум на 5 минут;
- замер величин сопротивления изоляции;
- контроль состояния цепей защитного заземления;
- испытания при помощи повышенного напряжения.

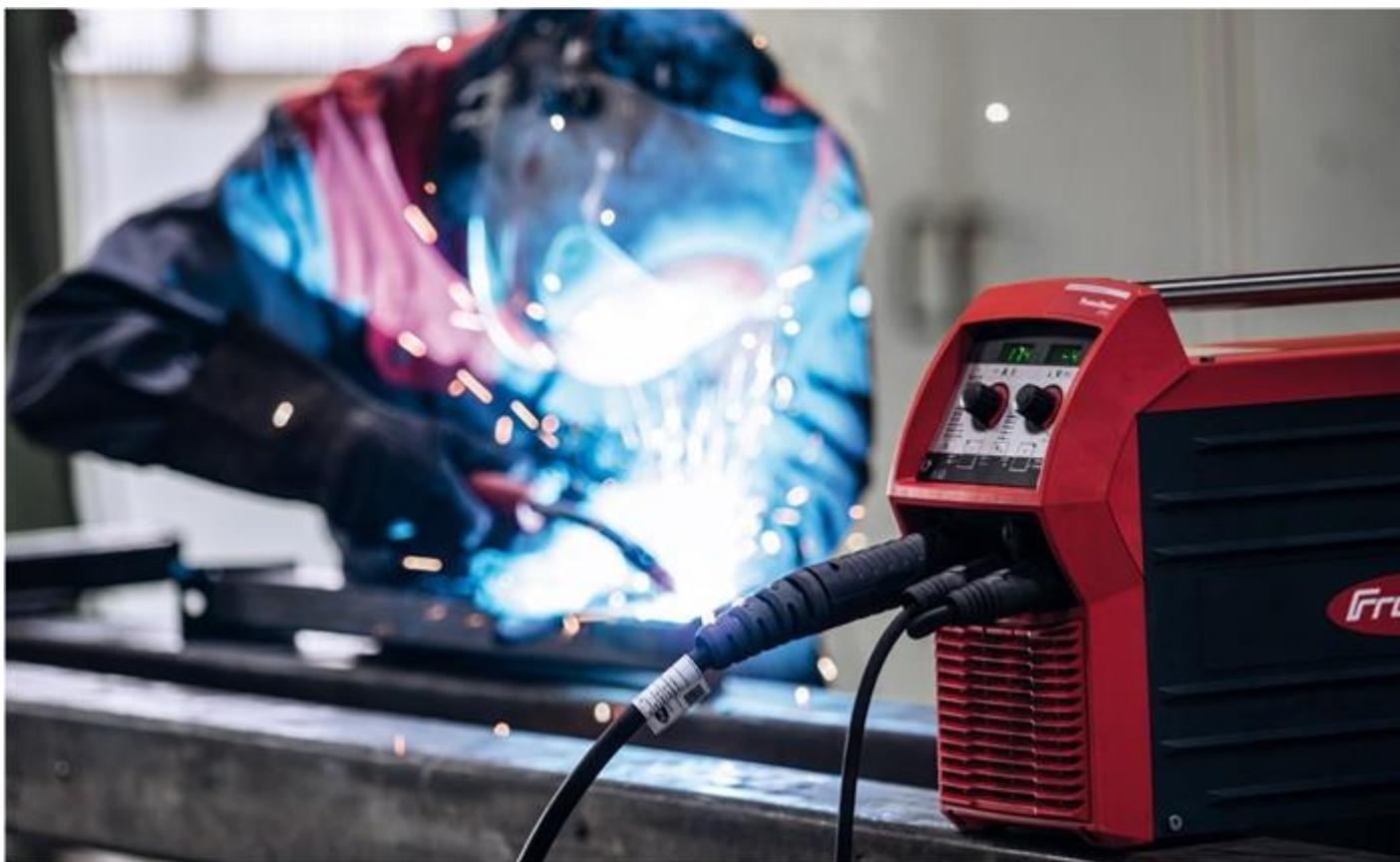


Правила технического обслуживания предполагают проведение периодических проверок, состоящих из контроля состояния изоляции, внешнего осмотра и контрольного включения. Все перечисленные действия осуществляются, если планируется использовать оборудование после продолжительного перерыва. Либо

они могут понадобиться, когда выявлены видимые повреждения механического либо электрического характера. Такой контроль необходим минимум через каждые полгода. После очередной проверки вся информация записывается в установленной форме в журнал.

Нормативы испытаний должны совпадать с требованиями правил, инструкций по эксплуатации и проведению технического обслуживания.

### **Контроль квалификации сварщиков, работающих со сварочным оборудованием и оснасткой**



Контроль квалификации специалистов, занимающихся сваркой конструкций из сплавов АМг, осуществляют по отраслевой нормали ОН 9-434–63. Согласно последней, а также нормам ведомственной инструкции, к механизированной сварке ответственных корпусных конструкций допускаются сотрудники не ниже второго разряда, прошедшие теоретическое и практическое обучение, имеющие опыт работы на полуавтоматах и автоматах. Также сварщики обязательно должны сдать контрольные практические испытания.

На контактных машинах имеют право работать сварщики и сборщики, получившие минимум второй разряд, если они прошли теоретическое обучение контактной сварке и тоже обладают необходимым опытом работы с такой техникой. Для допуска к работе их контрольные образцы должны быть проверены на соответствие нормам ОН 9-434–63 и ОН 9-323–69.

Сварка наиболее ответственных конструкций может проводиться дипломированными сварщиками с квалификацией не ниже четвертого разряда.

Одним из важных условий определения квалификации сварщиков считается получение оптимальных значений механических свойств сварочных проб. За долгие годы работы комиссии, проверяющие квалификацию сварщиков, убедились, что сваренные аргодуговой сваркой стыковые пробы из сплава АМг-10 (обладающего достаточно высоким уровнем пластичности) могут иметь низкий предел прочности при испытании на растяжение и малые углы загиба, когда речь идет о плоских изделиях.

Такое может произойти, если образцы были изготовлены недостаточно качественно, были выбраны неподходящие методы механической обработки. Например, если проводить разрезку сварных стыковых соединений при помощи гильотины, углы загиба уменьшаются почти в два раза сильнее, чем при работе с фрезерным станком. Это происходит из-за образующегося по кромкам заготовки наклепа.



Низкое качество образцов может быть связано с плохой обработкой кромок, недостаточной запилкой острых углов и заусенцев, наличием неровностей при снятии усиления шва. В любом случае при недостаточном качестве занижаются итоги механических испытаний, что приводит к определенной неясности.

Обязанность специалистов отдела технического контроля, отслеживающих качество проб из сплавов АМг, состоит в том, чтобы строго следить за изготовлением образцов перед их отправкой в ЦЗЛ на механические испытания.

После успешного завершения испытаний сварщики получают дипломы. В следующий раз им придется подтвердить свою квалификацию через два года, повторно пройдя испытания. При отсутствии диплома либо если этот документ просрочен, специалиста нельзя допускать к ответственным работам.

Высокое качество сборки и сварки во многом зависит от состояния и качества используемых в этом случае устройств. Дело в том, что за счет последних удастся предельно точно выполнять все работы, снизить долю пригоночных операций и сварочных деформаций. ОТК отвечает за периодический контроль состояния сварочного оборудования.

Исправность сварочных автоматов, полуавтоматов и источников питания время от времени проверяют посредством контрольных приборов. Все показания вносят в паспорт оборудования минимум раз в квартал. Неисправные устройства и сварочное оборудование, не способное обеспечить высокое качество работ, использоваться не могут.

### **Периодичность мероприятий контроля сварочного оборудования**



Любые мероприятия, входящие в перечень действий по обслуживанию сварочного и термического оборудования, проводятся по графику, установленному на предприятии его главным техническим специалистом.

Наиболее важным этапом контроля сварочного оборудования считается своевременная поверка измерительных приборов, устанавливаемых на аппараты для сварки. По этой причине подготовка плана обслуживания техники обязательно проводится совместно со специалистом, отвечающим за метрологию. В результате удастся добиться такого графика, по которому плановые ремонты и обслуживание совпадают по срокам с проверкой измерительных устройств.

## **Нормативы требуют, чтобы регулярно осуществлялся текущий контроль технического состояния следующих устройств:**

- сварочных аппаратов переменного и постоянного тока (трансформаторов и выпрямителей) – дважды в месяц;
- сварочных инверторов, преобразователей – еженедельно;
- аппаратов для автоматической и полуавтоматической сварки – каждый день.

После любой проверки результаты вносятся в соответствующий журнал.

## **Нюансы контроля сварочного оборудования и приборов**



Чтобы подвести итог по контролю сварочного оборудования, его сущности и методике проведения, еще раз остановимся на самых важных моментах.

Данные мероприятия предполагают оценку исправности контрольно-измерительных приборов, защитных устройств, электрододержателей, сварочных горелок, редукторов, шлангов, проводов, пускорегулирующих устройств. К последним относятся контакторы, реле, реостаты, ограничители. Кроме того, специалисты обязательно смотрят на надежность контактов и изоляции, гидравлических и пневматических устройств, возможность обеспечения заданных режимов согласно технологическому процессу, а также правильность подключения сварочной цепи (проверяют полярность, наличие заземления).

Прежде чем приступать к работе на сварочных контактных машинах, осуществляют дополнительный контроль их рабочего состояния, центровки и соосности губок.

Обязательно проверяют величину сопротивления вторичного контура – норма в этом случае находится в пределах до 60 мком.

На предприятии должен быть отдельный специалист, отвечающий за исправность термического оборудования и соблюдение режимов термообработки сварных соединений. Отметим, что состояние данного оборудования термисты оценивают в начале каждого рабочего дня, мастер проверяет его еженедельно, а наладчики, пирометристы и электрики проводят профилактический осмотр раз в месяц.



Во время мероприятий по контролю приборов оценивают следующие показатели: исправность самих аппаратов, термопар и экранирующих устройств (если речь идет об электронном оборудовании), стабильность работы нагревающих элементов и установок, к которым относятся индукторы, горелы, спирали печей. Также проверяют

надежность контактов, электроизоляции и заземления, пускорегулирующих устройств (реле, контакторов, ограничителей), охлаждающей системы, питательных линий (шлангов, электропроводов). Смотрят на возможность обеспечения температурных режимов согласно технологическому процессу, надежность термоизоляции между витками индуктора и обрабатываемым изделием.

Все результаты термообработки записываются в журнале, куда обязательно прикладываются диаграммы, если имеются записывающие устройства.

#### **45. Операционный контроль технологического процесса сварки**

Система операционного контроля в сварочном производстве включает четыре операции: контроль подготовки, сборки, процесса сварки и полученных сварных соединений.

##### *1) Контроль подготовки деталей под сварку*

Он предусматривает контроль обработки лицевой и обратной поверхностей, а также торцевых кромок свариваемых деталей. Поверхности свариваемых кромок должны быть зачищены от загрязнений, консервирующей смазки, ржавчины и окалины, на ширину 20 – 40мм от стыка. Подготовку поверхности производят механическим способом (с использованием металлических щёток, шабера) и химическим травлением. Перед обработкой поверхности производят её обезжиривание ветошью или волосяными щётками. Обезжиривание выполняют с помощью растворителей (керосин, бензин, ацетон). После обезжиривания следует механическая или химическая обработка. Для контроля используют эталоны или контрольные образцы. Для ответственных конструкций из алюминиевых сплавов количественным показателем качества подготовленной поверхности является электрическое контактное сопротивление двух свариваемых деталей. При изготовлении свариваемых деталей используют различные способы разрезания металла. Резку выполняют механическим и термическим способами. При резке механическим путём на поверхности торцевых кромок имеют место сколы, местные вырывы, трещины. При термической обработке наблюдается оплавленный слой. Поэтому после термической обработки необходимо производить механическую шлифовку торцевых кромок с последующим их контролем. Контроль торцевых кромок при сварке толстостенных конструкций включает проверку формы и геометрических параметров разделки кромок. К

геометрическим параметрам разделки кромок под сварку относят величину притупления, угла скоса кромок и радиус скругления корня разделки. Для контроля геометрических параметров разделки кромок использует мерительный инструмент и шаблоны (бесшкальная мера). В некоторых случаях при подготовке свариваемых деталей выполняют контроль разметки, например, при контактной сварке нахлесточных соединений контролируют шаг между сварными точками, а при дуговой сварке стыковых тонколистовых соединений контролируют установочное расстояние от стыка до прижима. Иногда различают начало и конец шва. Разметка начала и конца шва контролируется, если при сборке стыковых соединений не устанавливаются выводные планки и чертежом предусматривается последующая отрезка. Геометрические параметры подготовки свариваемых кромок узаконены соответствующими государственными или отраслевыми стандартами.

Отклонения от установленных значений обычно приводят к образованию различных дефектов сварки. Так, например, в результате завышения угла скоса кромок происходит перерасход электродного металла и возрастают деформации.

Уменьшенный угол скоса кромок затрудняет надежное проплавление вершины угла разделки и приводит к непровару корня шва. Увеличение величины притупления также вызывает непровар, а уменьшение – прожог. При подготовке свариваемых деталей из алюминиевых сплавов необходимо контролировать время хранения деталей перед сваркой. Это время не должно превышать 3 часов для механической обработки и 8 часов для химического травления.

## *2) Контроль сборки свариваемых деталей*

Сборка – установка свариваемых деталей в соответствующее положение друг относительно друга. При сборке стыковых соединений внимание обращают на сборочные зазоры и смещения торцевых кромок. Отклонения этих величин в сторону увеличения приводит к прожогам. Важную роль играет контроль положения стыка свариваемых деталей по отношению к оси источника. При сварке неплавящимся электродом контролируют величину дугового промежутка. При сборке нахлесточных соединений контролируется величина нахлестки, а при сварке тавровых соединений – перпендикулярность свариваемых деталей. При сборке деталей типа тела вращения контролируют их соосность. Во всех случаях контроль осуществляется в соответствии с чертежом изделия. В целях фиксирования собранных деталей в установленном положении выполняют прихватку, предохраняющую смещение деталей при последующей сварке или транспортировке от сборочного к сварочному месту. Прихватку часто выполняют ручной дуговой сваркой покрытым электродом. При этом контролируется расстояние между прихватками, длина прихваток и их количество. При проверке качества прихваток следует обращать внимание на состояние поверхности и высоту прихваток. Загрязненные и с неудаленным шлаком прихватки

могут привести к шлаковым включениям в металле шва, а прихватки большой высоты – к непровару. После выполнения прихваток осуществляют зачистку поверхности прихваток, а также снимают усиление и брызги металла. Практически всегда усиление прихваток не допускается, т.к. оно может вызвать непровар или уменьшение ширины сварного шва в зоне прихватки. При сварке высокоответственных стыковых соединений с торцов свариваемых деталей устанавливают выводные технологические планки, на которых начинают и заканчивают сварку. Планки должны иметь толщину и форму разделки кромок, соответствующие свариваемым деталям. При сборке планок со свариваемыми деталями контролируют точность их стыковки. При разметке начала и конца шва, когда чертежом предусматривается механическая обрезка, выводные планки не используют. Собранные, но не сваренные в течение дня конструкции подлежат повторному контролю.

### *3) Контроль процесса сварки*

Контроль включает визуальное наблюдение за процессом плавления металла и формирования шва, контроль стабильности параметров режима и работоспособности оборудования. При контактной сварке контролируют постановку сварочных точек, а при дуговой сварке устойчивость горения дуги и стабильность защиты от окисления. Внешний вид образующегося сварного шва и формы сварных точек характеризуют правильность режима сварки. Поэтому постоянный контроль за режимом сварки по показателям контрольно-измерительных приборов и визуальные наблюдения за процессом позволяют оперативно реагировать на возможные отклонения, во многом обеспечивает качество сварных соединений. При сварке ответственных конструкций используют системы автоматического управления и регулирования параметров режима с помощью датчиков автоматического контроля, встроенных в сварочное оборудование. В некоторых случаях ведут непрерывную запись параметров. При двусторонней сварке и сварке толстостенных конструкций обязательен контроль первого (корневого) шва (прохода). Контролируют также порядок наложения и количество слоёв, состояние поверхности каждого слоя, качество зачистки предыдущего шва, время перерывов между проходами, последовательность выполнения сварных швов и т.д. При двухсторонней сварке алюминиевых сплавов перед наложением второго шва с обратной стороны корень первого шва вырубает или выфрезеровывают и затем ведут контроль выборки. Выполняется зачистка от шлака предыдущего шва. При контроле сложных конструкций необходимо обращать внимание на соблюдение последовательности и режимов изготовления конструкций в целом, т.к. качественное выполнение сварных соединений на узлах или подузлах не гарантирует качества конструкции в целом.

### *4) Контроль сварных соединений*

После сварки сварные соединения, как правило, контролируют визуальным способом. Осмотру подвергают сварной шов и околошовную зону. Обычно контроль проводят невооружённым глазом. При выявлении поверхностных дефектов размером меньше 0,1 мм используют оптические устройства, например, лупу 4-7 кратного увеличения. Необходимость применения для визуального осмотра оптических приборов с указанием кратности их увеличения должна быть оговорена в технической документации на контроль. При контроле недоступных для внешнего осмотра сварных соединений используют оптические приборы, например, эндоскоп на основе гибких светопроводящих трубок. Если технологический процесс предусматривает механическую обработку сварных швов, то контроль выполняют и после её проведения. Сварные изделия, подвергаемые термообработке, также контролируются после её проведения. Внешний осмотр, как правило, совмещают с измерением конструктивных элементов сварных швов или точек с целью выявления отклонения по размерам и форме швов и точек от требований стандартов, чертежей, технических условий и инструкций по сварке изделий.

Основными конструктивными элементами сварных швов являются:

- ширина шва;
- высота усиления и проплава;
- плавность перехода от усиления к основному металлу и др.

В сварных точках контролируют:

- её форму и диаметр;
- глубину отпечатка;
- расстояние между точками и др.

При осмотре выявляют, как правило, поверхностные поры, трещины всех видов и направлений, наплывы, прожоги, свищи, подрезы, незаваренные кратеры, непровары и другие дефекты-несплошности. Качество считается неудовлетворительным, если будут выявлены недопустимые дефекты. Нормы допустимых дефектов указываются в НТД и приводятся на чертежах изделий. При отсутствии количественных показателей дефектов, контроль производят по эталонам или контрольным образцам. Такое сравнение целесообразно при анализе неравномерности и величины чешуек, зоны цветов побежалости, формы катета угловых швов и т.д. При выявлении и исправлении недопустимых дефектов сварные соединения повторно подвергают контролю.

##### *5) Приемочный контроль сварных изделий*

Приемочный контроль включает проверку внешнего вида изделия и определение его размеров (визуальный контроль). Для ответственных сварных изделий проводят испытания. Испытания подразделяют на разрушающие и неразрушающие.

Неразрушающие испытания, часто называют физическими методами контроля. К ним относят рентгеногаммаграфический (РГГ), ультразвуковой (УЗК), контроль герметичности и др. Неразрушающие испытания позволяют определить в сварных швах внутренние или сквозные дефекты, недоступные внешнему осмотру. Эти испытания косвенным образом характеризуют показатели работоспособности сварных изделий.

Разрушающие испытания позволяют оценить прямым путём показатели качества сварных изделий. К разрушающим испытаниям относят механические испытания, металлографический анализ и др. Эти испытания, как правило, проводятся на выборочных натуральных образцах или на специальных изделиях подготовленных для испытаний и изготовленных по стандартной технологии. По результатам испытаний оформляется протокол, где указываются их результаты. При положительных результатах испытаний сварные изделия маркируют, консервируют в упаковку или тару и проверяют наличие и комплектность сопроводительной документации. К такой документации относят паспорт, в котором даётся заключение о пригодности изделия к эксплуатации. При отрицательных результатах составляется ведомость замечаний, в соответствии с которой производится доработка (ремонт) изделия и затем повторные испытания.

## **Внешний осмотр и обмеры сварных швов и соединений**

**Внешний осмотр и обмеры сварных швов** и соединений являются первыми контрольными операциями по приемке готового сырья узла или изделия. Им подвергают все сварные швы независимо от того, как они будут испытаны в дальнейшем.

Внешним осмотром выявляют такие наружные дефекты, как непровары, наплывы, прожоги, незаваренные кратеры, подрезы, трещины, поверхностные поры, смещение свариваемых деталей.

**Перед осмотром** сварной шов и прилегающую к нему поверхность основного металла на ширине не менее 20 мм по обе стороны шва очищают от шлака, застывших брызг металла, окалины и других загрязнений. Швы осматривают невооруженным глазом

или применяя лупу с увеличением до 10 раз по всей их протяженности и (в случае доступности) обязательно с двух сторон. При недостаточном освещении используют карманные фонари или переносные электрические лампочки. Хорошо выполненный сварной шов имеет плавный переход к основному металлу, без наплывов и подрезов, а также равномерную ширину и высоту на всей длине.

**По внешнему виду шва** можно установить причину появления тех или иных дефектов. Так, при малом токе шов получается слишком высокий, с закругленными краями и неглубоким проваром; завышенный ток ведет к неровностям краев шва и появлению подрезов. При сварке длинной дугой происходит интенсивное разбрызгивание металла и шов неодинаков по ширине. Неравномерные чешуичатость, ширина и высота шва указывают на нарушения режима сварки и частые обрывы дуги. В этих случаях возможны непровары и поры.

Особенно тщательно **осматривают незаваренные кратеры**, так как в них наиболее часто образуются трещины и поры. При обнаружении трещин их границы выявляют шлифовкой дефектного места наждачной бумагой и травлением 20%-ным раствором азотной кислоты, а в отдельных случаях засверливанием или подружкой зубилом. Мелкие трещины обнаруживают при нагревании сварного соединения до вишнево-красного цвета, когда они ярко выделяются на светлом фоне нагретого металла.

Осматривая швы на сталях, склонных к закалке, необходимо обращать внимание на характер распределения нагара по поверхности деталей. Металлическая пыль и частицы окалины под действием магнитных полей, возникающих при прохождении сварочного тока, скапливаются над трещиной в виде продолговатого бугорка. Эти места следует осматривать особенно тщательно. Трещина в шлаке часто указывает на наличие трещины в шве.

**Внешний осмотр сварных швов на легированных сталях** с целью выявления трещин выполняют дважды: сразу же после сварки и спустя 15—30 дней. Это объясняется тем, что структурные изменения в легированных сталях происходят медленно, и трещины могут появиться после того, как изделие уже осмотрено.

**Обнаруженные трещины** разделяют до основного металла, после чего их заваривают и проводят повторный контроль шва.

Результаты внешнего осмотра позволяют предположительно судить о местах расположения внутренних дефектов и их характере. Так, например, подрез на одной из сторон шва и наплыв на другой указывают на возможный непровар по его кромке; грубая чешуйчатость с закатами шва и ноздреватость свидетельствуют о повышенной пористости шва и загрязненности его неметаллическими включениями; непостоянная ширина шва часто является следствием неравномерной ширины зазора между свариваемыми кромками. В местах же с малым или очень большим зазором могут

быть непровары, о наличии которых судят по перекосам, смещению кромок, большой высоте шва и мелким кратерам.

В некоторых случаях при внешнем осмотре применяют эталоны, по которым оценивают качество сварных швов изделия.

### Обмеры сварных швов

**Качество сварного соединения** в значительной мере характеризуется размерами сварных швов. Недостаточное сечение шва уменьшает его прочность, завышенное — увеличивает внутренние напряжения и деформации в нем.

Для проверки размеров сечения у стыковых швов измеряют их ширину, высоту усиления и размер обратной подварки; в угловых швах, соединениях внахлестку и втавр, — катет шва. Значения этих величин, а также допускаемые отклонения устанавливаются техническими условиями или ГОСТами.

**Размеры сварного шва** контролируют измерительным инструментом с точностью измерения  $\pm 0,1$  мм или специальными шаблонами, имеющими вырезы под определенный шов, размер которого указан (выбит) на шаблоне.

Кроме того, есть предельные шаблоны с наибольшими (проходными) и наименьшими (непроходными) контрольными вырезами. Количество таких шаблонов должно соответствовать номенклатуре сварных швов и типов сварных соединений.

Удобно применять универсальные шаблоны, пригодные как для обмера швов, так и для проверки правильности подготовки кромок под сварку.

Ширину стыкового шва контролируют штангенциркулем, а шаг прерывистого шва — обычной металлической линейкой или складным метром.

Степень коробления изделия в процессе сварки и после нее определяют с помощью линеек, индикаторов, прогибомеров и тензометров.

**Обязательному контролю подлежит** уровень поверхности сваренных деталей. Для этой цели используют прибор, состоящий из штанги, рамки, стопорного винта, ножки и основания. При совпадении нулевых штрихов линейки и нониуса базовая поверхность основания и поверхность ножки находятся в одной плоскости. Прибор устанавливают основанием на одну из свариваемых деталей и ножкой — на вторую. Смещение поверхностей деталей по высоте отсчитывают на линейке от места совпадения штрихов ее шкалы и нониуса. Прибор прост в изготовлении и эксплуатации. Его использование сокращает длительность замеров и повышает точность измерения.

Вопрос о том, в какой степени допустимы те или иные дефекты выявляемые внешним осмотром и обмерами сварных швов, оговаривается в технических условиях на изготовление изделий.

### **Понятие и сущность дуговой резки**

Дуговой резкой называют процесс выплавления металла, нагреваемого дугой и вытекающего из полости реза. Для обеспечения и ускорения дуговой резки процесс ведут при вертикальном или наклонном положении разрезаемого изделия, так как при этом вытекание расплавляемого металла облегчается.

Дуговая резка по сравнению с газовой имеет ряд недостатков: широкий рез, неровность его краев, натеки на нижнем крае реза, поэтому ее применение сравнительно ограничено. Дуговую резку применяют в тех случаях, когда металл не поддается газовой резке, когда отсутствует оборудование для резки газом или в случае таких работ, как разделка лома, отрезка литников и т.п. Для увеличения производительности применяют выдувание расплавляемого металла сжатым воздухом.

Основные процессы дуговой резки металла основаны на расплавлении металла в месте реза и удалении его за счет давления дуги и собственного веса, а в некоторых случаях и дополнительного потока воздуха. Резку металла, как правило, выполняют вручную угольными или покрытыми металлическими электродами и используют для чугуна, высоколегированных сталей, цветных металлов и сплавов. Качество реза обычно низкое, с неровными кромками, покрытыми шлаком и оплавившимся металлом. Перед последующей сваркой требуется обязательная механическая обработка.

Производительность резки невысокая.

Дуговая резка металла не требует специального оборудования и может быть осуществлена там, где выполняется дуговая сварка. Дуговая резка металла возможна в различных пространственных положениях. Подобная универсальность способствует применению (особенно в монтажных условиях) дуговой резки металла для углеродистых и низколегированных сталей. Резку металла можно выполнять как разделительную, так и поверхностную для выплавления канавок в основном металле, удаления дефектов в сварных швах и литейных отливках и т.д.

### **Преимущества и недостатки**

Сама дуговая резка имеет следующие плюсы, которые выделяют ее на фоне других методов:

- 1) Отсутствие необходимости в специальном оборудовании и окружающих условиях
- 2) Быстрое обучение на оборудовании ДР.
- 3) Возможность резки, как при постоянном токе, так и при переменном.

#### **Недостатки этого метода:**

- 1) Плохое качество реза, который получается в конечном итоге.
- 2) Низкая производительность.

Но, не смотря на эти недостатки, многие фирмы, которые работают в строительной, ремонтной или автомобильной сфере, не могут обойтись без данной установки, так как именно метод дуговой резки позволяет быстро и относительно недорого провести обработку металлических деталей.

Также существует другой подвид дуговой резки, заключается он в том, что расплавленный металл удаляется из области обработки под давлением выдуваемой струи воздуха.

Окисление, которое происходит при этом, никак не влияет на сам процесс резки. Зато в конечном итоге удаляется больше шлака и расплавленного металла, тем самым улучшая качество обработки металлических изделий.

### **48. Классификация способов дуговой резки металлов**

В настоящее время получили распространение несколько разновидностей электродуговой резки металлов.

Основные из них:

1. Дуговая резка металлическим электродом;
2. Дуговая резка угольным электродом;
3. Кислородно-дуговая резка;
4. Воздушно-дуговая резка.
5. Разделительная дуговая резка металла.
6. Поверхностная дуговая резка металла.
7. Подводная резка.

## 8. Вырезка отверстий в металлах.

### **Разделительная дуговая резка металла**

При разделительной резке металла изделие устанавливают в положение, в котором наиболее благоприятны условия для вытекания расплавленного металла из места реза. При вертикальных резах резку металла ведут сверху вниз, для того чтобы выплавляемый металл не засорял выполненный разрез. Для отклонения дуги магнитным дутьем в направлении реза второй сварочный кабель присоединяют сверху у начала разреза. Разделительную резку металла начинают с кромки или с середины листа. В последнем случае вначале прорезают отверстие. Затем, наклонив электрод так, чтобы кратер был расположен на торцевой кромке реза, оплавливают ее. Если толщина разрезаемого металла меньше диаметра электрода, последний располагают перпендикулярно поверхности и просто перемещают вдоль линии реза без дополнительных колебаний.

### **Поверхностная дуговая резка металла**

При поверхностной резке металла электрод наклоняют к поверхности под углом 5--20° и перемещают, частично погружая его конец в образовавшуюся полость. Широкие канавки выплавляют с поперечными колебаниями электрода в вертикальном положении. Глубина канавки зависит от скорости перемещения дуги и наклона электрода. Глубокие канавки выполняют за несколько проходов. Для прорезания дугой круглых отверстий различного размера электрод устанавливают перпендикулярно к поверхности и возбуждают дугу возможно большей длины.

### **Подводная дуговая резка металлов**

Подводную дуговую резку производят так же, как и резку на воздухе. Электроды, применяемые при подводной резке, необходимо покрывать водонепроницаемой обмазкой толщиной около 1 мм. Сила тока, применяемого при подводной резке, должна быть на 20--25% больше, чем при резке на воздухе. Для подводной резки применяют угольные и металлические электроды с дополнительной подачей в дугу режущего кислорода.

### **Вырезка отверстий в металле**

Для вырезки больших отверстий вначале прорезают маленькое отверстие, несколько отступя внутрь от края реза, а затем рез продолжают, выводя его на края основного отверстия. Особое внимание при дуговой резке металла следует обращать на предохранение от брызг и капель металла и шлака, которые могут вызвать ожоги и загорания.

## Дуговая резка металла металлическим электродом.

Для дуговой резки металла металлическим электродом используют толстопокрытые электроды, обычно те же, что и для сварки. Род тока зависит от марки электрода. На скорость разделительной резки основное влияние оказывают толщина металла, диаметр электрода и величина тока. С увеличением толщины металла скорость резки металла резко уменьшается. Для резки угольными или графитовыми электродами используют постоянный ток прямой полярности, так как в этом случае на изделии выделяется больше теплоты. Науглероживание кромок реза затрудняет их последующую механическую резку. Ширина реза больше, чем при использовании металлического электрода.

Сущность способа резки металлическим плавящимся электродом заключается в том, что сила тока подбирается на 20—30% больше, чем при сварке, и металл проплавляют мощной электрической дугой. Электрическую дугу зажигают у начала реза на верхней кромке и в процессе резки перемещают ее вниз вдоль разрезаемой кромки.

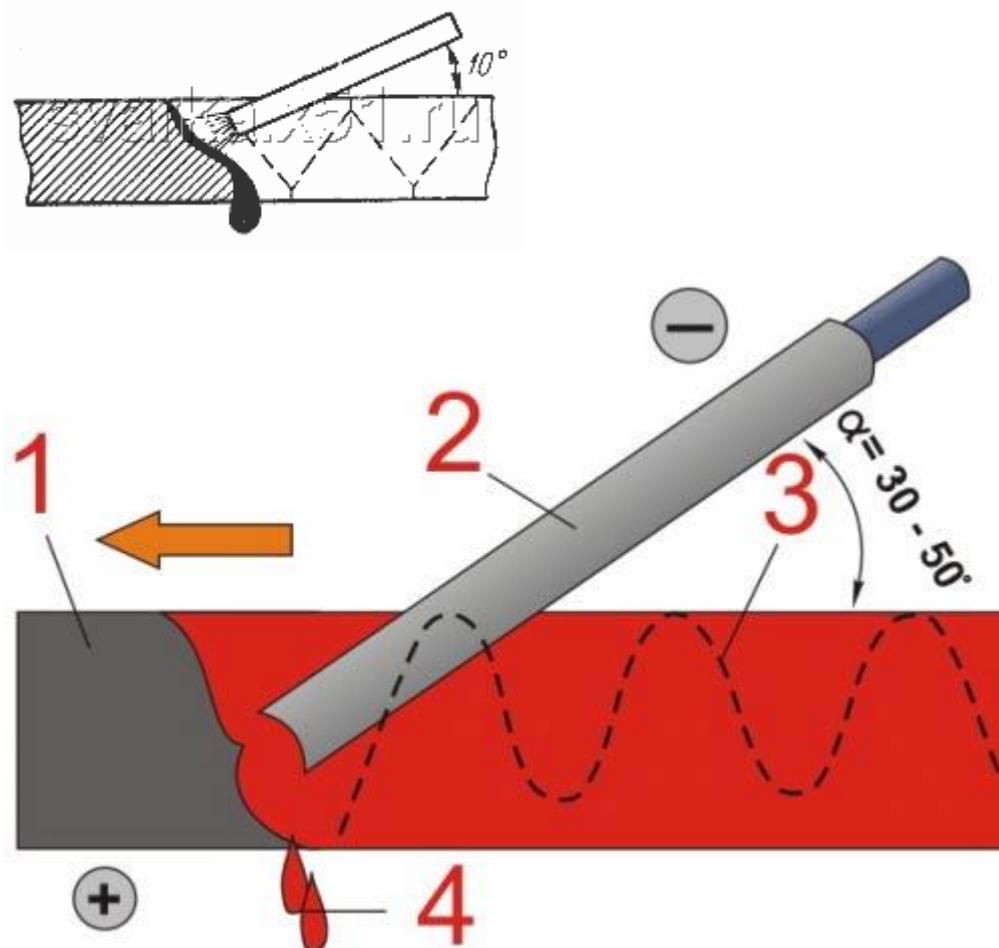


Рис. 1. Схема дуговой резки металлическим электродом

Металлическим электродом можно резать чугун, нержавеющие стали и цветные металлы, которые не поддаются обычной кислородной резке.

При дуговой резке используют электроды, имеющие специальные электродные покрытия, способствующие улучшению процесса резки. Металлические электроды для резки изготавливают из проволоки марок Св-08 или Св-08А по ГОСТ 2246--70 диаметром 3--12 мм и длиной не более 250--300 мм. На электродные стержни наносят покрытия следующего состава (%):

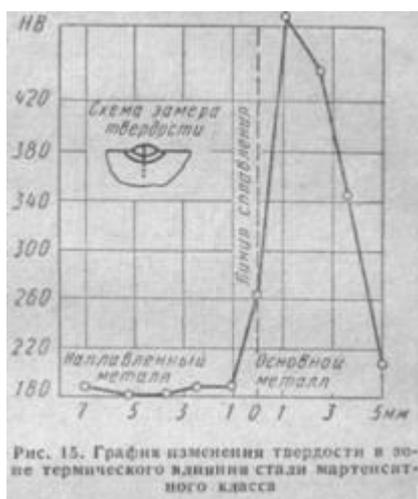
- |                            |    |
|----------------------------|----|
| 1. Марганцевая руда .....  | 98 |
| Поташ.....                 | 2  |
| 2. Марганцевая руда !..... | 94 |
| Мрамор .....               | 3  |
| Каолин.....                | 3  |

Толщина слоя покрытия 1--1,5 мм на сторону

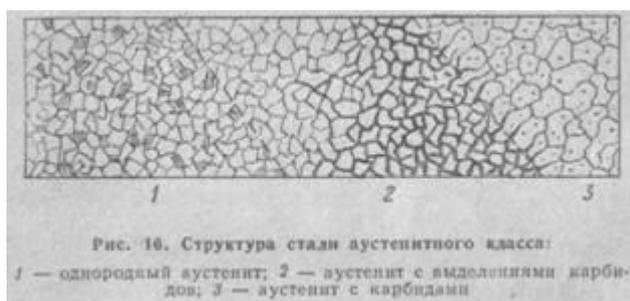
Металлическим электродом можно резать на переменном и на постоянном токе. Режимы резки приведены в табл.

Основные недостатки этого способа резки -- низкая производительность и плохое качество реза. Рез получается с большими неровностями и натеками металлах обратной стороны.

Наряду с ручной резкой применяют автоматическую резку металлическим электродом под слоем флюса. Этим способом в основном раскраивают листы из нержавеющей стали толщиной до 30 мм.



Режут на обычных сварочных автоматах сварочной проволокой марок Св-08 или Св-08А с флюсом АН-348А. Автоматическая резка более производительна. Режимы автоматической резки под слоем флюса приведены в таблице



Дуговая резка металлов выполняется металлическим плавящимся электродом, угольным электродом и неплавящимся вольфрамовым электродом в защитной среде аргона.

#### *Схема резки металлическим электродом*

Капли образующегося расплавленного металла выталкиваются козырьком покрытия электрода. Козырек одновременно служит и изолятором электрода от замыкания последнего на металл. Основными недостатками этого способа резки являются низкая производительность и плохое качество реза.

### **Кислородно-дуговая резка**

Кислородно-дуговой способ резки основан на сжигании стали по линии реза струей кислорода при одновременном действии электрической дуги. Особенности процесса кислородно-дуговой резки определяются характером дугового разряда и схемой взаимного расположения дуги и режущей струи [43]. Менее важное значение имеют характер сопла режущего кислорода и материал электрода. Возможны следующие разновидности этих признаков.

#### **1. Характер дуги:**

- а) дуга прямого действия;
- б) дуга косвенного действия.

#### **2. Схемы взаимодействия режущей струи и источника нагрева:**

- а) последовательный нагрев: режущая струя следует за дугой (рис:64, а);
- б) концентрический нагрев: дуга перемещается вокруг неподвижной струи кислорода или вокруг струи располагается несколько дуг (рис:64, б);

в) центральный нагрев: режущая струя образует столб дуги (рис:64, в).

### 3. Характер режущего сопла: а) постоянное сопло;

б) непостоянное сопло (трубка), разрушаемое по мере расходования электрода.

### 4. Материал электродов:

а) неплавящийся электрод;

б) плавящийся электрод.

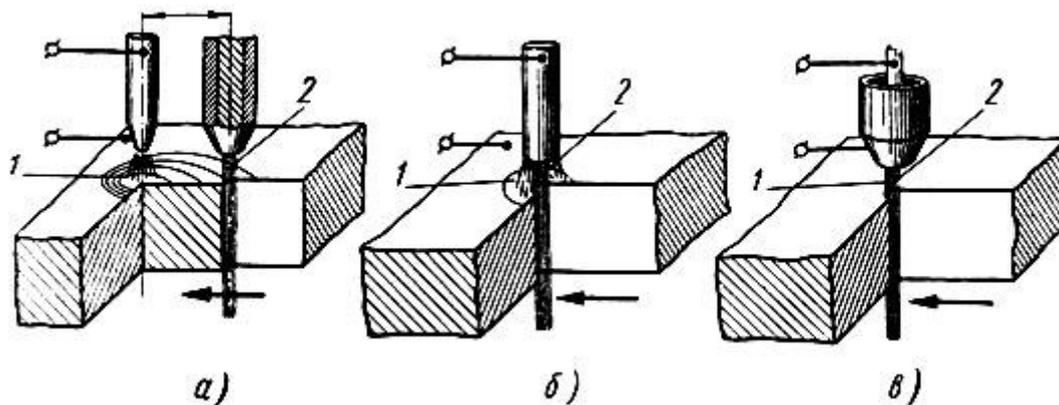


рис:64. Схемы расположения дуги и струи при кислородно-дуговой резке: а - последовательная; б - концентрическая; в - центральная; 1 - дуга; 2 - кислородная струя

Дуга косвенного действия нагревает металл в результате теплообмена между потоком плазмы разряда и поверхностью разрезаемой детали. Большая часть энергии независимой дуговой разряда поглощается электродами, в связи с чем эффективная мощность независимой дуги невысока и в большинстве случаев составляет меньший процент от потребляемой электрической мощности, чем эффективная мощность пламени газо-кислородной смеси по отношению к его полной мощности. Исключение мог бы составить процесс резки по схеме центрального нагрева, осуществляемый сформированной цилиндрической струей кислорода, находящегося в состоянии плазмы. Как было указано выше, эффективные мощности и к. п. д. плазменного нагрева превосходят соответствующие характеристики газопламенного. Однако использование кислорода в качестве рабочего газа в плазмо-генераторе резко осложняет условия работы электродов. Осуществление на практике схемы центрального кислородно-плазменного нагрева требует изыскания специальных электродных материалов, не чувствительных к кислороду при высоких температурах, свойственных дуговому разряду, или другого рационального решения.

Наиболее целесообразным в энергетическом отношении является электрический дуговой разряд прямого действия, введение тепла которым более эффективно и сосредоточенно, чем независимой дугой и газо-кислородным пламенем. Прямая дуга, как правило, характеризуется активным плавящим действием и практически

мгновенно вызывает образование расплавленной ванны на поверхности металла, служащего одним из электродов. Плавящее действие дуги при этом дополняет реакцию окисления металла. Следовательно, по природе энергии, обеспечивающей разьединение металла, кислородно-дуговой способ является способом теплохимическим. В энергетическом уравнении (6) этого процесса  $q = q_p + q_0 + q_m$  теплота источника складывается из теплоты, вводимой дуговым разрядом  $q_g$ , и теплоты, выделяющейся в результате химической реакции окисления  $q_x$ . При резке стали или использовании стальных электродов уравнение (6) может быть записано в виде

$$q = 0,24\eta IU + \eta_x g \cdot 0,01 (\alpha q_{FeO} + \beta q_{Fe_3O_4}) \text{ кал/сек. (52)}$$

Большое значение для определения сущности процесса имеет следующее: преобладает ли в кислородно-дуговом процессе химическое взаимодействие или он происходит за счет выплавления металла дугой; струя кислорода при этом играет подчиненную роль механического агента, ускоряющего удаление расплавленного металла.

Полученные автором данные о химическом анализе продуктов кислородно-дуговой резки малоуглеродистой стали (табл. 25) показывают, что действие электрической дуги играет при этом не только вспомогательную, но и самостоятельную роль. Используя резку по схеме последовательного нагрева и регулируя расстояние между неплавящимся угольным стержневым электродом и кислородным соплом, можно получить состав шлаков, соответствующий шлакам, полученным при кислородной резке. При уменьшении этого расстояния заметно возрастает доля неокисленного железа в шлаке.

Таблица 25

Состав продуктов резки сталей

Метод резки	Толщина разрезаемой стали в мм	Содержание в продуктах резки в %			Примечания
		Fe	FeO	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
Дуговая	10	70,4	0,4	29,2	По данным [44]
Кислородная с электродуговым нагревом	10	24,4	53,4	22,2	Между дугой и соплом 20 мм. Скорость резки 225 мм/мин. Давление кислорода 6 кГ/см <sup>2</sup> . Диаметр сопла 1,4 мм
То же	10	56,7	31,7	11,6	Между дугой и соплом 14 мм. Скорость резки 225 мм/мин. Давление кислорода 6 кГ/см <sup>2</sup> . Диаметр сопла 1,4 мм

Особенно много неокисленного металла содержат продукты резки трубчатыми электродами (табл. 26). Очевидно, при этом в верхней части реза кислородная струя обеспечивает механическое удаление жидкого металла, расплавленного дугой. Процесс окисления развивается лишь на некоторой глубине от поверхности, интенсифицируясь с ростом толщины стали и расходом кислорода и ослабляясь с увеличением величины рабочего тока. Доля неокисленного железа в шлаке превышает 50%; продукты резки по составу приближаются к продуктам резки дугой без подачи газа.

Таблица 26

**Состав продуктов резки стали стальными трубчатыми электродами**

Толщина разрезаемой стали в мм	Диаметр сопла в мм	Давление кислорода в кг/см <sup>2</sup>	Рабочий ток в а	Содержание в продуктах резки в %			
				Fe	FeO	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Минеральные примеси
16	2,7	5	200	42	9,5	47	1,5
16	2,7	5	270	51	4	43	2
16	2,7	3	270	59,5	4	35	1,5
32	2,7	5	270	48	6	45	1

Наибольшее распространение получил метод кислородно-дуговой резки по схеме "концентрического нагрева", реализуемый с помощью трубчатых электродов. Этот процесс с успехом используют в подводном судоремонте, при аварийно-спасательных операциях, судоподъеме и подводно-технических работах, где к источнику тепла при резке предъявляются особенно высокие требования.

В настоящее время для подводной кислородно-дуговой резки можно использовать металлические трубчатые электроды или электроды, изготовленные из неметаллических тугоплавких материалов, стойких против окисления. Металлические электроды изготовляют, как правило, из малоуглеродистой стали. Корпус электрода представляет собой толстостенную трубку. Для подводной резки обычно применяют трубку с наружным диаметром 6 - 10 мм. Диаметр кислородного канала равен 1,5 - 4 мм; нормальная длина режущего электрода 300 - 450 мм. На рабочую часть электрода на участке длиной 250 - 430 мм наносят покрытие (минеральная обмазка, обертка лентой и т. п.), защищаемое водоупорным предохранительным слоем. Свободный конец электрода служит для укрепления его в специальном электрододержателе, обеспечивающемся одновременный подвод к электроду тока и кислорода. Быстрое расплавление электрода и малый срок его службы являются основными недостатками стальных трубок. Поскольку электрод расплавляется за 1 - 1,5 мин, вспомогательное время, затрачиваемое на смену электрода под водой, как правило, превышает чистое время резки. При этом резко снижается производительность, а высокая стоимость толстостенных трубок обуславливает низкую экономическую эффективность обработки. Более

длительным сроком службы характеризуются неметаллические трубчатые электроды. Обычно их изготавливают из керамических материалов методом прессования и последующего спекания. В качестве исходных продуктов обычно используют тугоплавкие карбиды или их смеси. По способу, разработанному Московским электромеханическим институтом инженеров транспорта, изготовление таких электродов производится из карборундовой шихты на бакелитовой связке с последующим обжигом заготовок в газовой фазе паробразного кремния. При этом устраняется пористость электрода за счет заполнения пустот парами кремния и их последующей конденсации. Карбид кремния относится к материалам, плохо проводящим ток в холодном состоянии, но повышающим свою проводимость в результате нагревания. Для подвода тока к дуге карборундовые электроды снабжают наружной металлической (стальной) оболочкой. Слой стали толщиной около 1 мм наносят обычно металлизацией. При возбуждении дуги ток к рабочему торцу электрода подводится по металлической оболочке. По мере разогрева прилегающих участков карборунда на них смещается основание дугового разряда.

Если электроды изготавливают из других карбидов или других тугоплавких соединений, хорошо проводящих ток, то нанесения металлической оболочки не требуется. Во всех случаях керамические электроды покрывают стабилизирующей обмазкой и гидроизоляцией.

Резку можно начинать с кромки детали и в средней ее части. Для этого, возбуждив дугу и затем подводя электрод к металлу, прожигают начальное отверстие, после чего, перемещая электрод в заданном направлении, производят резку. Полноту прорезания металла в ходе резки контролируют по характеру удаления расплавленных шлаков, струя которых при образовании сквозного реза вытекает с нижней стороны разрезаемой детали.

Кислородно-дуговую резку можно выполнять, пользуясь одним из трех технологических приемов: поддержанием дуги, углублением электрода или опиранием электрода. Техника резки поддержанием дуги заключается в удержании конца электрода на весу на расстоянии 1 - 2 мм от поверхности разрезаемой детали. При этом электрод держат под прямым углом к поверхности и равномерно перемещают вдоль намеченной линии реза. Поскольку устойчивость дуги, поддерживаемой в воде от руки, низкая, а эффективный к. п. д. незащищенной дуги невысокий, технику "поддержания дуги" применяют только при резке тонкой стали неметаллическими электродами.

Стальные детали толщиной 30 мм и более, а также детали из других металлов режут, используя технику углубления электрода, аналогичную методу последовательного выплавления металла, применяемому при дуговой электрической резке. Для этого, возбуждив дугу, углубляют конец электрода на 2 - 3 мм в полость реза и, отклонив его на 15 - 20° от вертикали в сторону, противоположную направлению резки, пилообразно перемещают дугу по лобовой кромке реза от верхней плоскости детали к нижней и обратно.

Производительность резки, выполняемой по такой схеме, невысока, но при этом обеспечивается надежное прорезание обрабатываемых элементов. Резку углублением электрода можно производить стальными и неметаллическими трубками.

При использовании покрытых стальных электродов целесообразнее резать металл опиранием электрода. Этот способ обеспечивает существенное ускорение процесса и повышение устойчивости дуги. Если толщина слоя обмазки достаточна для образования "козырька" на конце электрода, слегка выступающего вперед при его расплавлении, то после возбуждения дуги можно приблизить рабочий конец электрода к поверхности разрезаемого металла так, чтобы он опирался о нее козырьком. Задержав электрод в начальной точке реза до полного прорезания металла, постепенно перемещают его по намеченному направлению так, чтобы его козырек все время скользил по поверхности металла, не углубляясь в рез. При этом для удобства электрод можно установить под углом 15 - 20° по направлению резки. При достаточном навыке резчика (при резке опиранием) удастся разрезать не только стальные листы, но и пакетные сварные и клепаные элементы, суммарная толщина которых равна 100 - 120 мм, что имеет существенное значение при обработке конструкций подводной резкой. Пользуясь этим методом, удастся прорезать пакеты со значительными (3 - 5 мм и более) зазорами между листами, если эти зазоры не заполнены негорящими неплавящимися веществами.

Таблица 27

**Режимы подводной кислородно-дуговой резки стали (глубина 10 м)**

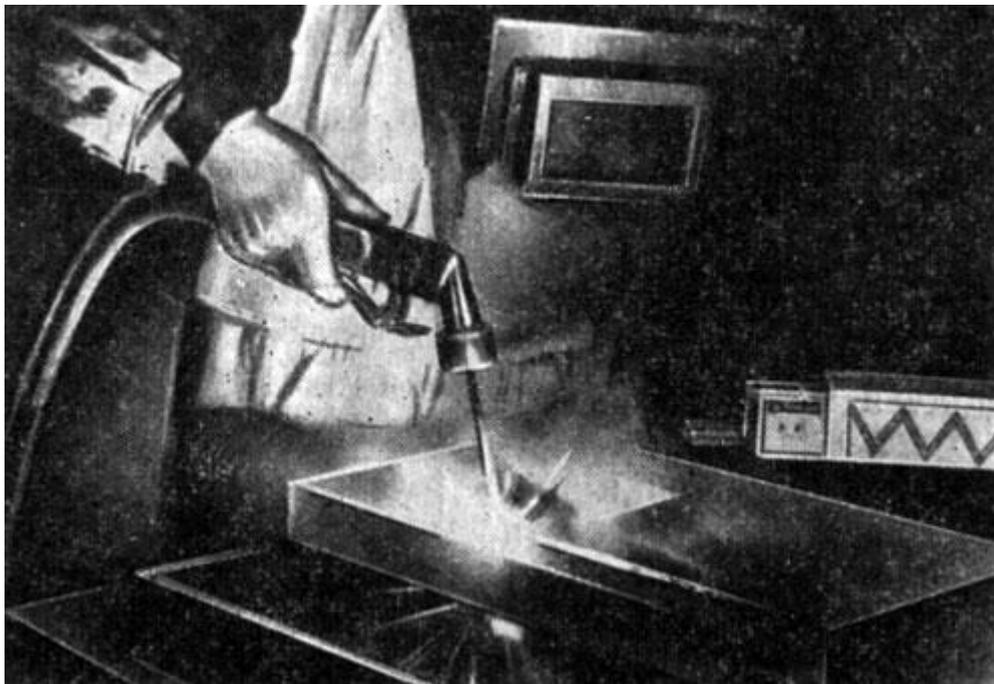
Толщина разрезаемой стали в мм	Рабочий ток в а	Рабочее давление кислорода в кг/см <sup>2</sup>	Скорость резки в м/ч
5	320	4	56,5
8	320	5	43
16	330	5	34
20	330	6	31
25	340	6	22
40	360	6	13
50	360	6	10
80	360	6	6

Скорость и надежность прорезания при кислородно-дуговой резке опиранием стальных пакетных элементов могут быть повышены при использовании для резки электродов с каналами большого диаметра. При этом целесообразно увеличить все проходные сечения кислородопровода. Целесообразно также пользоваться электродами с увеличенным металлическим сечением, так как это облегчает прорезание зазоров между листами пакета. Одновременно необходимо питать дугу

более сильными токами, поскольку при понижении плотности тока устойчивость режущего разряда снижается. Верхний предел металлического сечения электрода ограничивается потерей устойчивости дуги. Работа на повышенных токе и давлении кислорода выгодна как с точки зрения улучшения прорезаемости пакета, так и для ускорения резки сплошных тел значительной толщины, однако повышение рабочего давления кислорода выше 7 - 8 кг/см<sup>2</sup> малоэффективно (давление указано для работы на глубине до 10 м). При резке на большей глубине на каждые последующие 10 м давление увеличивают на 1 кг/см<sup>2</sup>. Величина скорости кислородно-дуговой резки пакетного элемента методом опирания достигает величины скорости резки монолитного металла равной толщины (табл. 27). Расположение зазора по толщине пакета не оказывает существенного влияния на возможность его прорезания. Разрезая пакетные элементы, можно сочетать высокопроизводительный способ резки опиранием с техникой углубления электрода. К последней целесообразно прибегать при наличии очень больших, сильно загрязненных зазоров между листами пакета, когда при резке опиранием не удастся обеспечить полного прорезания даже при очень медленном перемещении электрода. Переход от одной техники резки к другой не требует специальных приготовлений и может быть осуществлен при возникновении надобности [45].

Подводную резку трубчатыми электродами осуществляют до настоящего времени, как правило, вручную. Комплект аппаратуры состоит из источника тока, источника кислорода, резака (электрододержателя), аппаратуры регулирования и управления и комплекта проводов и шлангов. Для питания дуги при резке используют обычно постоянный ток. В качестве источника тока применяют стандартные сварочные преобразователи с повышенным напряжением холостого хода. В последнее время в отечественной технике получили распространение электрододержатели ЭКД-4. Разработаны усовершенствованные модели ЭКД-4М, ЭКД-4-60 [46].

Кислородно-дуговая резка трубчатыми электродами под названием "способ Аркос-Оксимарк" получила применение в США. ФРГ и некоторых других странах для резки чугуна, нержавеющей стали и цветных металлов в обычных условиях. Применение этого способа основано на том, что увлекаемые струей кислорода капли металла электрода, сгорая в ней, вносят в рез большое количество теплоты, необходимой для резки металлов, обладающих высокой теплопроводностью или образующих тугоплавкие окислы. Вместе с тем при резке чугуна и нержавеющей сталей электродный металл, смешиваясь с расплавленной ванной, снижает содержание в ней углерода и других легирующих элементов.



Фиг. 65. Кислородно-дуговая резка трубчатым электродом

Для резки используют покрытые обмазкой электроды из малоуглеродистой стали с наружным диаметром 5 - 8 мм и каналом диаметром 1 - 3,5 мм. Электрод укрепляют в специальном электрододержателе, обеспечивающем подвод тока и кислорода (фиг. 65). Режущую дугу питают постоянным или переменным током (табл. 28).

Таблица 28

**Характеристика кислородно-дуговой резки по методу "Оксиарк"**

Разрезаемый металл	Толщи на в мм	Диаметр электрода в мм		Величи на рабоче го тока в а	Давлен ие кислор ода в $\frac{кК}{см^2}$	Скоро сть резки в м/ч	Расход кислор ода в $\frac{м^3}{м}$	Примечан ие
		наружн ый	внутрен ний					
Многоуглерод истая	5	5	1	110	3,5	51	0,045	Непрерыв ная резка
	10	5	1,5	110	5,5	55	0,06	
	20	5	1,5	140	6,5	37,5	0,115	
	40	5	2	140	6	23	0,34	
	100	7	3	430	7	13,5	1,6	
Хромо- никелевая сталь	3	5	1	210	1,5	52	0,062	Непрерыв ная резка. Пилообраз ная резка
	10	5	1	220	2,5	26	0,18	
	20	5	1	220	2,5	12	0,4	
	40	5	1	220	2,5	4,2	0,8	
	100	7	2	300	3,5	2,7	4	

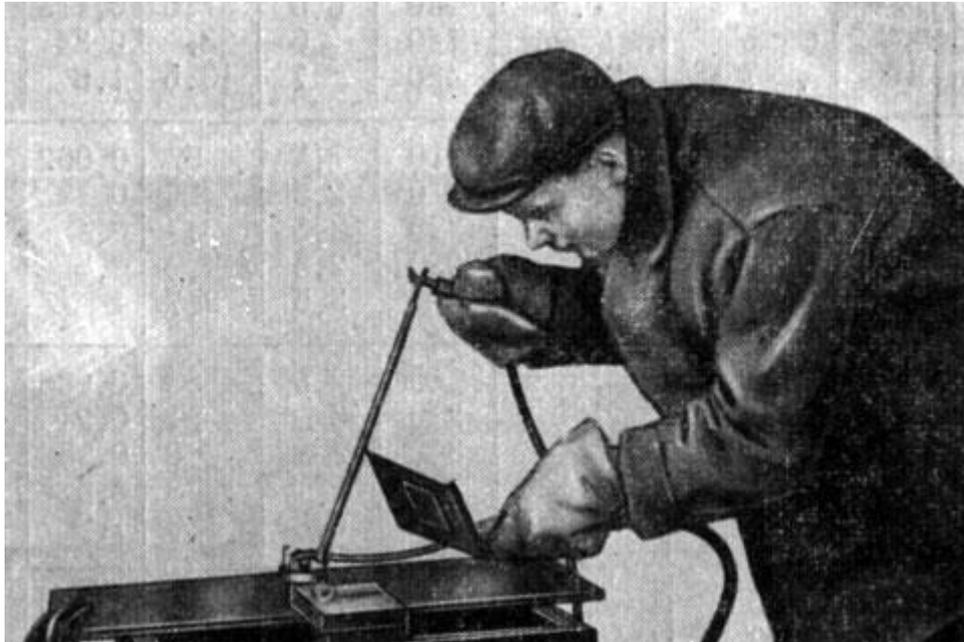
Бронза, латунь	3	5	1	210	2,5	53	0,068	Непрерывная резка. Пилообразная резка
	10	5	1	220	3	21	0,2	
	20	5	1	300	2	6	0,25	
	40	5	1	300	2	3	0,5	
	100	7	2	480	0,8	1,2	1,3	
Медь	5	5	1	300	3	33	0,125	Непрерывная резка. Пилообразная резка
	10	7	2	500	3	15	0,325	
	25	7	25	660	3,5	9	1,2	
Алюминий	5	5	1	190	1,5	29,5	0,11	Непрерывная резка
	10	5	1	220	2,5	28,5	0,165	
	25	5	1	260	2,5	19	0,25	

Техника же резки в этом случае аналогична той, которая описана применительно к подводным работам. Металл толщиной до 10 мм режут, используя технику резки опиранием. Более толстые листы и детали разрезают путем углубления электрода в рез и пилообразного перемещения его конца внутри реза от верхней поверхности детали к нижней и обратно.

Резка кислородно-дуговым методом достаточно производительная, но кольцевое распределение дугового разряда прямого действия при использовании трубчатых электродов обуславливает пониженное качество реза: сильно оплавляются боковые кромки и загрязняется рез.

Вместе с тем трубчатые электроды дороги, сложны в изготовлении и расходуются очень быстро. В связи с этим кислородно-дуговая резка трубчатыми электродами целесообразна лишь при выполнении небольших работ по резке нержавеющей стали, чугуна и цветных металлов.

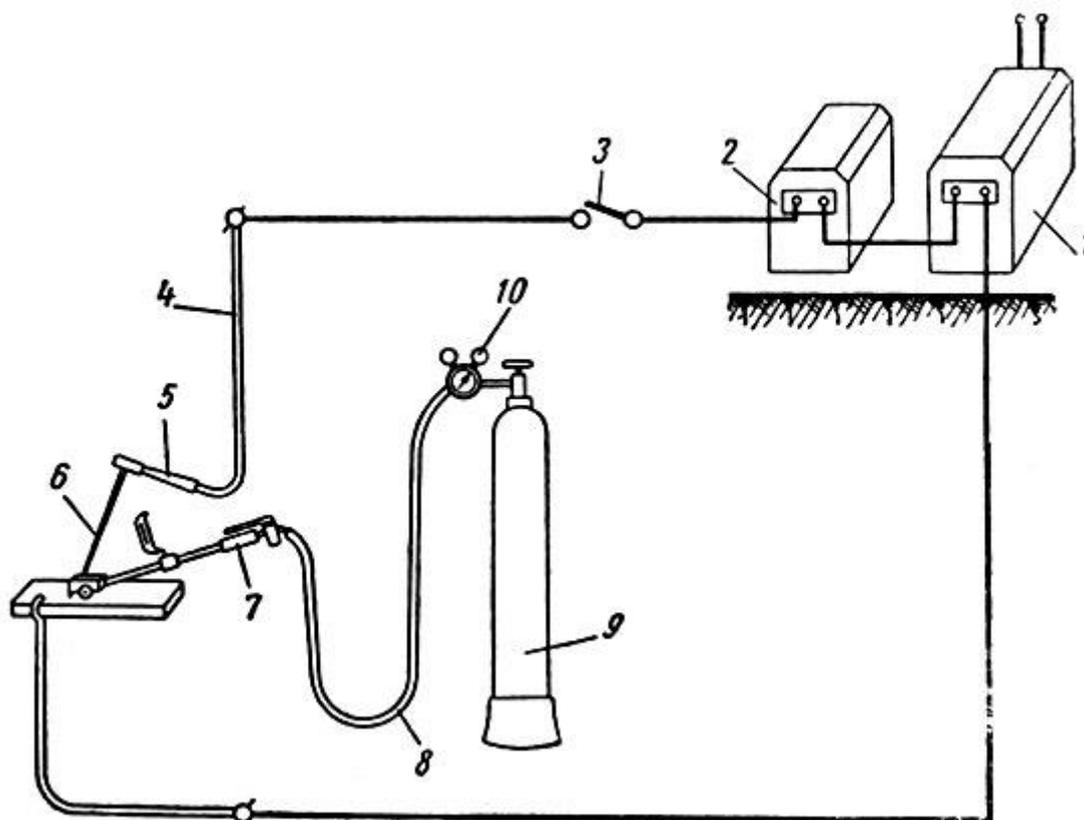
ВНИИАВТОГЕН в 1955 г. разработал способ и аппаратуру для ручной кислородно-дуговой резки, предусматривающие использование обычных стержневых электродов. При этом резчик управляет процессом с помощью обеих рук. Резак РГД выполнен в виде кислородной приставки к обычному сварочному электрододержателю. Во время резки резак держат левой рукой, а правой управляют держателем с электродом, конец которого пропускают через отверстие в направляющей втулке резака (фиг. 66). После возбуждения дуги нажатием рычага кислородного клапана на рукоятке резака подают кислород и, равномерно перемещая резак по намеченной линии, производят резку. Для наблюдения за процессом резки на резаке укреплен защитный щиток. С целью стабилизации процесса резки резак может быть укомплектован специальным соплом. Дугу при этом используют лишь для начала резки. Сопутствующий подогрев является не обязательным.



*Фиг. 66. Кислородно-дуговая резка резакom РГД*

При резке резакom РГД полностью используется весь комплект электросварочной аппаратуры постоянного или переменного тока. Сварочную аппаратуру необходимо дополнить только кислородным баллоном с редуктором и резацельной приставкой со шлангом (фиг. 67). Это очень удобно для выполнения подсобной резки при электросварочных работах, так как для перехода от сварки к резке и наоборот не требуется менять электрододержатель, электрод и даже установленный режим.

Пользуясь резакom РГД, можно выполнять короткие прямолинейные резы стали толщиной до 50 мм. Качество реза может быть получено близким к качеству ручного пламенно-кислородного реза, скорость резки также сопоставима с величинами, получаемыми при пламенно-кислородной резке. Разумеется, нельзя при этом считать, что кислородно-дуговая резка является полноценным заменителем пламенно-кислородной. Управление процессом при этом сложнее, резак неудобен для выполнения контурных резов, а расход кислорода несколько повышенный по сравнению с расходом при пламенно-кислородной резке.



Фиг. 67. Схема соединения аппаратуры для резки резаком РГД: 1 - сварочный трансформатор; 2 - дроссель; 3 - рубильник; 4 - сварочный кабель; 5 - электрододержатель; 6 - электрод; 7 - резак; 8 - шланг; 9 - баллон с кислородом; 10 - редуктор

В заключение следует отметить, что и в подводных работах предпринимаются попытки применить кислородно-дуговую резку по схеме последовательного нагрева. ВНИИЭСО разработана конструкция полуавтоматического резака, имеющего кислородное сопло и мундштук для проволочного электрода. Проволока подается по шлангу с помощью подающего механизма из бухты. То и другое размещено в затапливаемом бункере. Головка резака имеет специальную конструкцию, обеспечивающую подачу режущей струи в фокус активного пятна дугового разряда. При резке таким полуавтоматическим резаком удастся получить приемлемую производительность и качество реза.

### Кислородно-дуговая резка

Кислородно-дуговой способ резки основан на сжигании стали по линии реза струей кислорода при одновременном действии электрической дуги. Особенности процесса кислородно-дуговой резки определяются характером дугового разряда и схемой взаимного расположения дуги и режущей струи [43]. Менее важное значение имеют характер сопла режущего кислорода и материал электрода. Возможны следующие разновидности этих признаков.

#### 1. Характер дуги:

а) дуга прямого действия;

б) дуга косвенного действия.

## 2. Схемы взаимодействия режущей струи и источника нагрева:

а) последовательный нагрев: режущая струя следует за дугой (рис:64, а);

б) концентрический нагрев: дуга перемещается вокруг неподвижной струи кислорода или вокруг струи располагается несколько дуг (рис:64, б);

в) центральный нагрев: режущая струя образует столб дуги (рис:64, в).

## 3. Характер режущего сопла: а) постоянное сопло;

б) непостоянное сопло (трубка), разрушаемое по мере расходования электрода.

## 4. Материал электродов:

а) неплавящийся электрод;

б) плавящийся электрод.

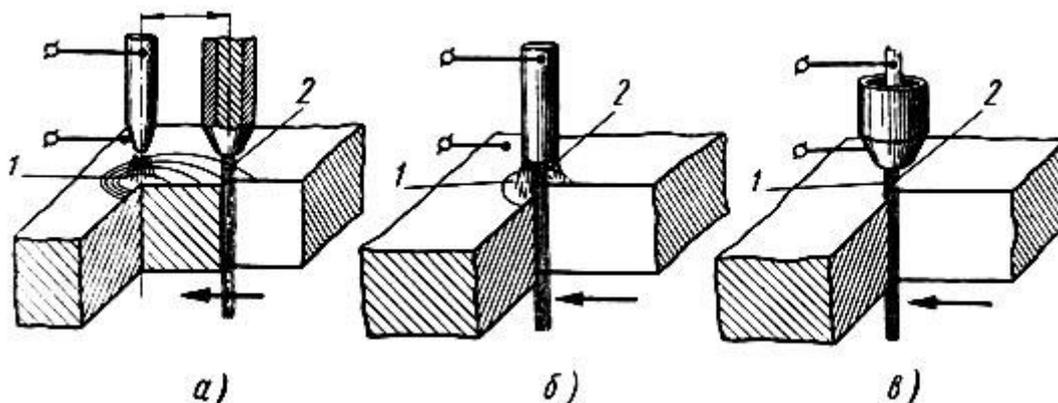


рис:64. Схемы расположения дуги и струи при кислородно-дуговой резке: а - последовательная; б - концентрическая; в - центральная; 1 - дуга; 2 - кислородная струя

Дуга косвенного действия нагревает металл в результате теплообмена между потоком плазмы разряда и поверхностью разрезаемой детали. Большая часть энергии независимого дугового разряда поглощается электродами, в связи с чем эффективная мощность независимой дуги невысока и в большинстве случаев составляет меньший процент от потребляемой электрической мощности, чем эффективная мощность пламени газо-кислородной смеси по отношению к его полной мощности. Исключение мог бы составить процесс резки по схеме центрального нагрева, осуществляемый сформированной цилиндрической струей кислорода, находящегося в состоянии плазмы. Как было указано выше, эффективные мощности и к. п. д. плазменного нагрева превосходят соответствующие характеристики газопламенного. Однако использование

кислорода в качестве рабочего газа в плазмо-генераторе резко осложняет условия работы электродов. Осуществление на практике схемы центрального кислородно-плазменного нагрева требует изыскания специальных электродных материалов, не чувствительных к кислороду при высоких температурах, свойственных дуговому разряду, или другого рационального решения.

Наиболее целесообразным в энергетическом отношении является электрический дуговой разряд прямого действия, введение тепла которым более эффективно и сосредоточенно, чем независимой дугой и газо-кислородным пламенем. Прямая дуга, как правило, характеризуется активным плавящим действием и практически мгновенно вызывает образование расплавленной ванны на поверхности металла, служащего одним из электродов. Плавящее действие дуги при этом дополняет реакцию окисления металла. Следовательно, по природе энергии, обеспечивающей разъединение металла, кислородно-дуговой способ является способом теплехимическим. В энергетическом уравнении (6) этого процесса  $q = q_p + q_0 + q_m$  теплота источника складывается из теплоты, вводимой дуговым разрядом  $q_g$ , и теплоты, выделяющейся в результате химической реакции окисления  $q_x$ . При резке стали или использовании стальных электродов уравнение (6) может быть записано в виде

$$q = 0,24\eta IU + \eta_{xg} \cdot 0,01 (\alpha q_{FeO} + \beta q_{Fe_3O_4}) \text{ кал/сек. (52)}$$

Большое значение для определения сущности процесса имеет следующее: преобладает ли в кислородно-дуговом процессе химическое взаимодействие или он происходит за счет выплавления металла дугой; струя кислорода при этом играет подчиненную роль механического агента, ускоряющего удаление расплавленного металла.

Полученные автором данные о химическом анализе продуктов кислородно-дуговой резки малоуглеродистой стали (табл. 25) показывают, что действие электрической дуги играет при этом не только вспомогательную, но и самостоятельную роль. Используя резку по схеме последовательного нагрева и регулируя расстояние между неплавящимся угольным стержневым электродом и кислородным соплом, можно получить состав шлаков, соответствующий шлакам, полученным при кислородной резке. При уменьшении этого расстояния заметно возрастает доля неокисленного железа в шлаке.

Таблица 25

**Состав продуктов резки сталей**

Метод резки	Толщина разрезаемой стали в мм	Содержание в продуктах резки в %			Примечания
		Fe	FeO	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	
Дуговая	10	70,4	0,4	29,2	По данным [44]

Кислородная с электродуговым нагревом	10	24,4	53,4	22,2	Между дугой и соплом 20 мм. Скорость резки 225 мм/мин. Давление кислорода 6 кГ/см <sup>2</sup> . Диаметр сопла 1,4 мм
То же	10	56,7	31,7	11,6	Между дугой и соплом 14 мм. Скорость резки 225 мм/мин. Давление кислорода 6 кГ/см <sup>2</sup> . Диаметр сопла 1,4 мм

Особенно много неокисленного металла содержат продукты резки трубчатыми электродами (табл. 26). Очевидно, при этом в верхней части реза кислородная струя обеспечивает механическое удаление жидкого металла, расплавленного дугой. Процесс окисления развивается лишь на некоторой глубине от поверхности, интенсифицируясь с ростом толщины стали и расходом кислорода и ослабляясь с увеличением величины рабочего тока. Доля неокисленного железа в шлаке превышает 50%; продукты резки по составу приближаются к продуктам резки дугой без подачи газа.

Таблица 26

#### Состав продуктов резки стали стальными трубчатыми электродами

Толщина разрезаемой стали в мм	Диаметр сопла в мм	Давление кислорода в кГ/см <sup>2</sup>	Рабочий ток в а	Содержание в продуктах резки в %			
				Fe	FeO	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Минеральные примеси
16	2,7	5	200	42	9,5	47	1,5
16	2,7	5	270	51	4	43	2
16	2,7	3	270	59,5	4	35	1,5
32	2,7	5	270	48	6	45	1

Наибольшее распространение получил метод кислородно-дуговой резки по схеме "концентрического нагрева", реализуемый с помощью трубчатых электродов. Этот процесс с успехом используют в подводном судоремонте, при аварийно-спасательных операциях, судоподъеме и подводно-технических работах, где к источнику тепла при резке предъявляются особенно высокие требования.

В настоящее время для подводной кислородно-дуговой резки можно использовать металлические трубчатые электроды или электроды, изготовленные из неметаллических тугоплавких материалов, стойких против окисления. Металлические электроды изготовляют, как правило, из малоуглеродистой стали. Корпус электрода представляет собой толстостенную трубку. Для подводной резки обычно применяют трубку с наружным диаметром 6 - 10 мм. Диаметр кислородного

канала равен 1,5 - 4 мм; нормальная длина режущего электрода 300 - 450 мм. На рабочую часть электрода на участке длиной 250 - 430 мм наносят покрытие (минеральная обмазка, обертка лентой и т. п.), защищаемое водоупорным предохранительным слоем. Свободный конец электрода служит для укрепления его в специальном электрододержателе, обеспечивающемся одновременный подвод к электроду тока и кислорода. Быстрое расплавление электрода и малый срок его службы являются основными недостатками стальных трубок. Поскольку электрод расплавляется за 1 - 1,5 мин, вспомогательное время, затрачиваемое на смену электрода под водой, как правило, превышает чистое время резки. При этом резко снижается производительность, а высокая стоимость толстостенных трубок обуславливает низкую экономическую эффективность обработки. Более длительным сроком службы характеризуются неметаллические трубчатые электроды. Обычно их изготавливают из керамических материалов методом прессования и последующего спекания. В качестве исходных продуктов обычно используют тугоплавкие карбиды или их смеси. По способу, разработанному Московским электромеханическим институтом инженеров транспорта, изготовление таких электродов производится из карборундовой шихты на бакелитовой связке с последующим обжигом заготовок в газовой фазе парообразного кремния. При этом устраняется пористость электрода за счет заполнения пустот парами кремния и их последующей конденсации. Карбид кремния относится к материалам, плохо проводящим ток в холодном состоянии, но повышающим свою проводимость в результате нагревания. Для подвода тока к дуге карборундовые электроды снабжают наружной металлической (стальной) оболочкой. Слой стали толщиной около 1 мм наносят обычно металлизацией. При возбуждении дуги ток к рабочему торцу электрода подводится по металлической оболочке. По мере разогрева прилегающих участков карборунда на них смещается основание дугового разряда.

Если электроды изготавливают из других карбидов или других тугоплавких соединений, хорошо проводящих ток, то нанесения металлической оболочки не требуется. Во всех случаях керамические электроды покрывают стабилизирующей обмазкой и гидроизоляцией.

Резку можно начинать с кромки детали и в средней ее части. Для этого, возбуждив дугу и затем подводя электрод к металлу, прожигают начальное отверстие, после чего, перемещая электрод в заданном направлении, производят резку. Полноту прорезания металла в ходе резки контролируют по характеру удаления расплавленных шлаков, струя которых при образовании сквозного реза вытекает с нижней стороны разрезаемой детали.

Кислородно-дуговую резку можно выполнять, пользуясь одним из трех технологических приемов: поддержанием дуги, углублением электрода или опиранием электрода. Техника резки поддержанием дуги заключается в удержании конца электрода на весу на расстоянии 1 - 2 мм от поверхности разрезаемой детали. При этом электрод держат под прямым углом к поверхности и равномерно перемещают вдоль намеченной линии реза. Поскольку устойчивость дуги,

поддерживаемой в воде от руки, низкая, а эффективный к. п. д. незащищенной дуги невысокий, технику "поддержания дуги" применяют только при резке тонкой стали неметаллическими электродами.

Стальные детали толщиной 30 мм и более, а также детали из других металлов режут, используя технику углубления электрода, аналогичную методу последовательного выплавления металла, применяемому при дуговой электрической резке. Для этого, возбуждив дугу, углубляют конец электрода на 2 - 3 мм в полость реза и, отклонив его на 15 - 20° от вертикали в сторону, противоположную направлению резки, пилообразно перемещают дугу по лобовой кромке реза от верхней плоскости детали к нижней и обратно.

Производительность резки, выполняемой по такой схеме, невысока, но при этом обеспечивается надежное прорезание обрабатываемых элементов. Резку углублением электрода можно производить стальными и неметаллическими трубками.

При использовании покрытых стальных электродов целесообразнее резать металл опиранием электрода. Этот способ обеспечивает существенное ускорение процесса и повышение устойчивости дуги. Если толщина слоя обмазки достаточна для образования "козырька" на конце электрода, слегка выступающего вперед при его расплавлении, то после возбуждения дуги можно приблизить рабочий конец электрода к поверхности разрезаемого металла так, чтобы он опирался о нее козырьком. Задержав электрод в начальной точке реза до полного прорезания металла, постепенно перемещают его по намеченному направлению так, чтобы его козырек все время скользил по поверхности металла, не углубляясь в рез. При этом для удобства электрод можно установить под углом 15 - 20° по направлению резки. При достаточном навыке резчика (при резке опиранием) удастся разрезать не только стальные листы, но и пакетные сварные и клепаные элементы, суммарная толщина которых равна 100 - 120 мм, что имеет существенное значение при обработке конструкций подводной резкой. Пользуясь этим методом, удастся прорезать пакеты со значительными (3 - 5 мм и более) зазорами между листами, если эти зазоры не заполнены негорящими неплавящимися веществами.

Таблица 27

**Режимы подводной кислородно-дуговой резки стали (глубина 10 м)**

Толщина разрезаемой стали в мм	Рабочий ток в а	Рабочее давление кислорода в кг/см <sup>2</sup>	Скорость резки в м/ч
5	320	4	56,5
8	320	5	43
16	330	5	34
20	330	6	31
25	340	6	22

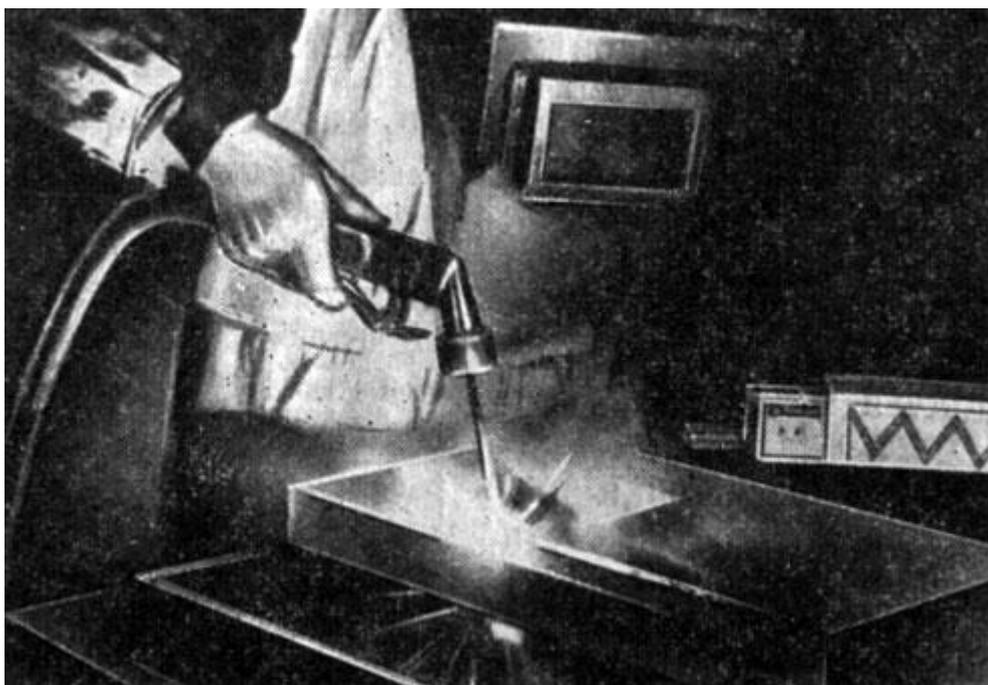
40	360	6	13
50	360	6	10
80	360	6	6

Скорость и надежность прорезания при кислородно-дуговой резке опиранием стальных пакетных элементов могут быть повышены при использовании для резки электродов с каналами большого диаметра. При этом целесообразно увеличить все проходные сечения кислородопровода. Целесообразно также пользоваться электродами с увеличенным металлическим сечением, так как это облегчает прорезание зазоров между листами пакета. Одновременно необходимо питать дугу более сильными токами, поскольку при понижении плотности тока устойчивость режущего разряда снижается. Верхний предел металлического сечения электрода ограничивается потерей устойчивости дуги. Работа на повышенных токе и давлении кислорода выгодна как с точки зрения улучшения прорезаемости пакета, так и для ускорения резки сплошных тел значительной толщины, однако повышение рабочего давления кислорода выше 7 - 8 кГ/см<sup>2</sup> малоэффективно (давление указано для работы на глубине до 10 м). При резке на большей глубине на каждые последующие 10 м давление увеличивают на 1 кГ/см<sup>2</sup>. Величина скорости кислородно-дуговой резки пакетного элемента методом опирания достигает величины скорости резки монолитного металла равной толщины (табл. 27). Расположение зазора по толщине пакета не оказывает существенного влияния на возможность его прорезания. Разрезая пакетные элементы, можно сочетать высокопроизводительный способ резки опиранием с техникой углубления электрода. К последней целесообразно прибегать при наличии очень больших, сильно загрязненных зазоров между листами пакета, когда при резке опиранием не удается обеспечить полного прорезания даже при очень медленном перемещении электрода. Переход от одной техники резки к другой не требует специальных приготовлений и может быть осуществлен при возникновении надобности [45].

Подводную резку трубчатыми электродами осуществляют до настоящего времени, как правило, вручную. Комплект аппаратуры состоит из источника тока, источника кислорода, резака (электрододержателя), аппаратуры регулирования и управления и комплекта проводов и шлангов. Для питания дуги при резке используют обычно постоянный ток. В качестве источника тока применяют стандартные сварочные преобразователи с повышенным напряжением холостого хода. В последнее время в отечественной технике получили распространение электрододержатели ЭКД-4. Разработаны усовершенствованные модели ЭКД-4М, ЭКД-4-60 [46].

Кислородно-дуговая резка трубчатыми электродами под названием "способ Аркос-Оксимарк" получила применение в США, ФРГ и некоторых других странах для резки чугуна, нержавеющей стали и цветных металлов в обычных условиях. Применение этого способа основано на том, что увлекаемые струей кислорода капли металла электрода, сгорая в ней, вносят в рез большое количество теплоты, необходимой для резки металлов, обладающих высокой теплопроводностью или

образующих тугоплавкие окислы. Вместе с тем при резке чугуна и нержавеющей сталей электродный металл, смешиваясь с расплавленной ванной, снижает содержание в ней углерода и других легирующих элементов.



Фиг. 65. Кислородно-дуговая резка трубчатым электродом

Для резки используют покрытые обмазкой электроды из малоуглеродистой стали с наружным диаметром 5 - 8 мм и каналом диаметром 1 - 3,5 мм. Электрод укрепляют в специальном электрододержателе, обеспечивающем подвод тока и кислорода (фиг. 65). Режущую дугу питают постоянным или переменным током (табл. 28).

Таблица 28

**Характеристика кислородно-дуговой резки по методу "Оксиарк"**

Разрезаемый металл	Толщина в мм	Диаметр электрода в мм		Величина рабочего тока в а	Давление кислорода в $\text{кК/см}^2$	Скорость резки в м/ч	Расход кислорода в $\text{м}^3/\text{м}$	Примечание
		наружный	внутренний					
Многоуглеродистая	5	5	1	110	3,5	51	0,045	Непрерывная резка
	10	5	1,5	110	5,5	55	0,06	
	20	5	1,5	140	6,5	37,5	0,115	
	40	5	2	140	6	23	0,34	
	100	7	3	430	7	13,5	1,6	
Хромоникелевая	3	5	1	210	1,5	52	0,062	Непрерывная резка.
	10	5	1	220	2,5	26	0,18	

сталь	20	5	1	220	2,5	12	0,4	Пилообразная резка
	40	5	1	220	2,5	4,2	0,8	
	100	7	2	300	3,5	2,7	4	
Бронза, латунь	3	5	1	210	2,5	53	0,068	Непрерывная резка. Пилообразная резка
	10	5	1	220	3	21	0,2	
	20	5	1	300	2	6	0,25	
	40	5	1	300	2	3	0,5	
	100	7	2	480	0,8	1,2	1,3	
Медь	5	5	1	300	3	33	0,125	Непрерывная резка. Пилообразная резка
	10	7	2	500	3	15	0,325	
	25	7	25	660	3,5	9	1,2	
Алюминий	5	5	1	190	1,5	29,5	0,11	Непрерывная резка
	10	5	1	220	2,5	28,5	0,165	
	25	5	1	260	2,5	19	0,25	

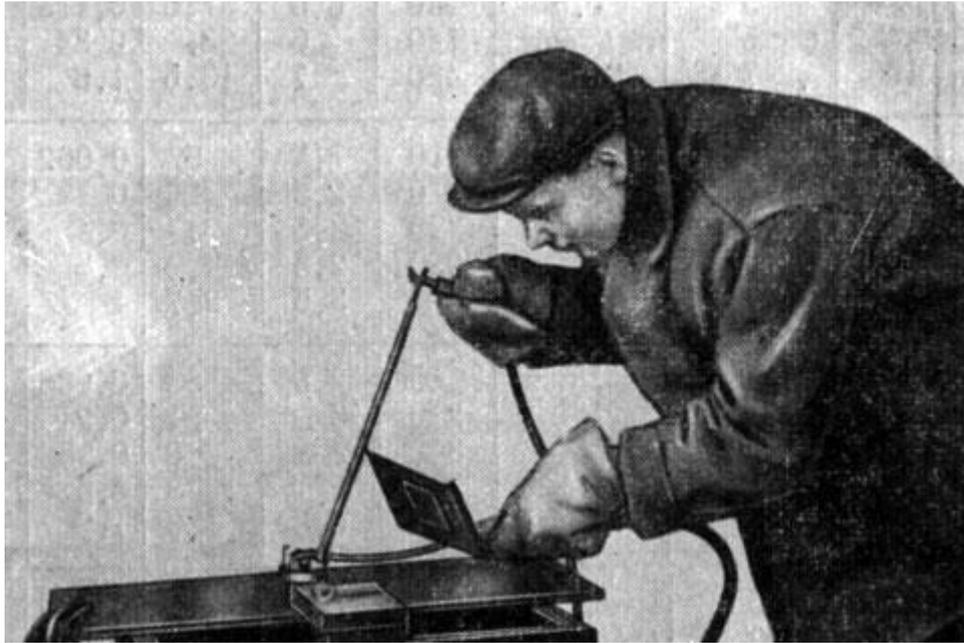
Техника же резки в этом случае аналогична той, которая описана применительно к подводным работам. Металл толщиной до 10 мм режут, используя технику резки опиранием. Более толстые листы и детали разрезают путем углубления электрода в рез и пилообразного перемещения его конца внутри реза от верхней поверхности детали к нижней и обратно.

Резка кислородно-дуговым методом достаточно производительная, но кольцевое распределение дугового разряда прямого действия при использовании трубчатых электродов обуславливает пониженное качество реза: сильно оплавляются боковые кромки и загрязняется рез.

Вместе с тем трубчатые электроды дороги, сложны в изготовлении и расходуются очень быстро. В связи с этим кислородно-дуговая резка трубчатыми электродами целесообразна лишь при выполнении небольших работ по резке нержавеющей сталей, чугуна и цветных металлов.

ВНИИАВТОГЕН в 1955 г. разработал способ и аппаратуру для ручной кислородно-дуговой резки, предусматривающие использование обычных стержневых электродов. При этом резчик управляет процессом с помощью обеих рук. Резак РГД выполнен в виде кислородной приставки к обычному сварочному электрододержателю. Во время резки резак держат левой рукой, а правой управляют держателем с электродом, конец которого пропускают через отверстие в направляющей втулке резака (фиг. 66). После возбуждения дуги нажатием рычага кислородного клапана на рукоятке резака подают кислород и, равномерно перемещая резак по намеченной линии, производят резку. Для наблюдения за процессом резки на резаке укреплен защитный щиток. С целью стабилизации процесса резки резак может быть укомплектован специальным соплом. Дугу при

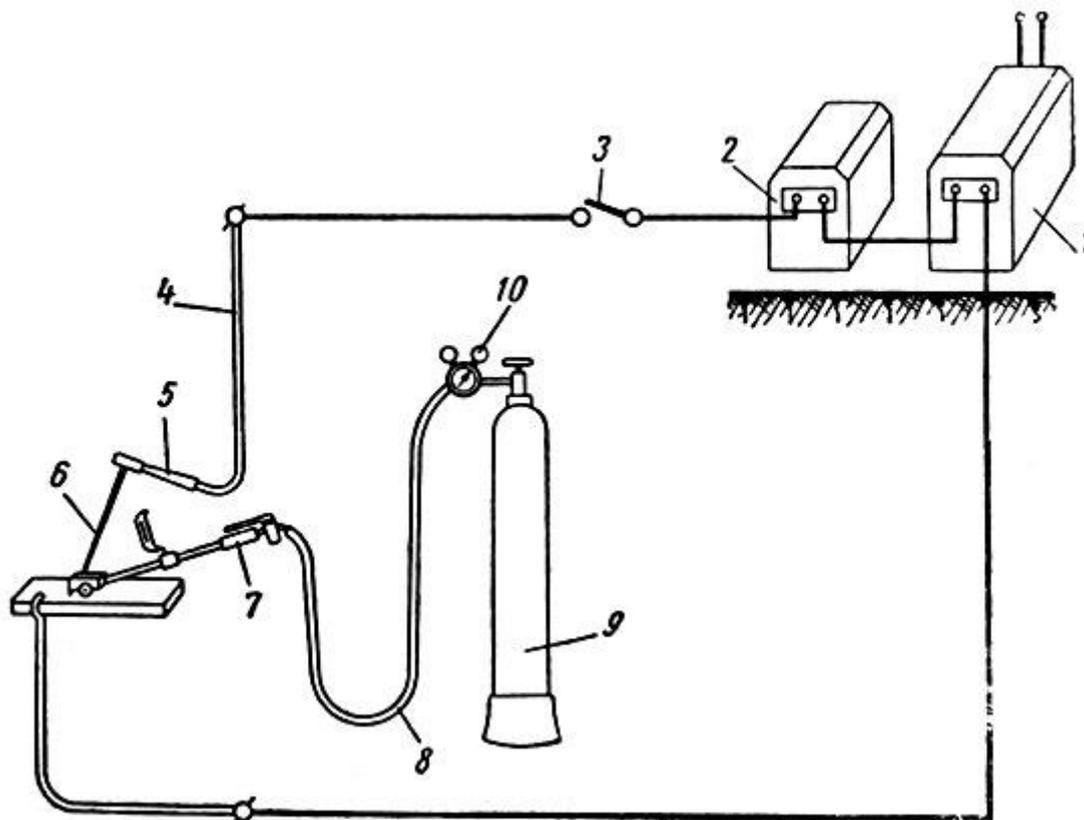
этом используют лишь для начала резки. Сопутствующий подогрев является не обязательным.



*Фиг. 66. Кислородно-дуговая резка резакom РГД*

При резке резакom РГД полностью используется весь комплект электросварочной аппаратуры постоянного или переменного тока. Сварочную аппаратуру необходимо дополнить только кислородным баллоном с редуктором и резательной приставкой со шлангом (фиг. 67). Это очень удобно для выполнения подсобной резки при электросварочных работах, так как для перехода от сварки к резке и наоборот не требуется менять электрододержатель, электрод и даже установленный режим.

Пользуясь резакom РГД, можно выполнять короткие прямолинейные резы стали толщиной до 50 мм. Качество реза может быть получено близким к качеству ручного пламенно-кислородного реза, скорость резки также сопоставима с величинами, получаемыми при пламенно-кислородной резке. Разумеется, нельзя при этом считать, что кислородно-дуговая резка является полноценным заменителем пламенно-кислородной. Управление процессом при этом сложнее, резак неудобен для выполнения контурных резов, а расход кислорода несколько повышенный по сравнению с расходом при пламенно-кислородной резке.



Фиг. 67. Схема соединения аппаратуры для резки резаком РГД: 1 - сварочный трансформатор; 2 - дроссель; 3 - рубильник; 4 - сварочный кабель; 5 - электрододержатель; 6 - электрод; 7 - резак; 8 - шланг; 9 - баллон с кислородом; 10 - редуктор

В заключение следует отметить, что и в подводных работах предпринимаются попытки применить кислородно-дуговую резку по схеме последовательного нагрева. ВНИИЭСО разработана конструкция полуавтоматического резака, имеющего кислородное сопло и мундштук для проволочного электрода. Проволока подается по шлангу с помощью подающего механизма из бухты. То и другое размещено в затапливаемом бункере. Головка резака имеет специальную конструкцию, обеспечивающую подачу режущей струи в фокус активного пятна дугового разряда. При резке таким полуавтоматическим резаком удастся получить приемлемую производительность и качество реза.

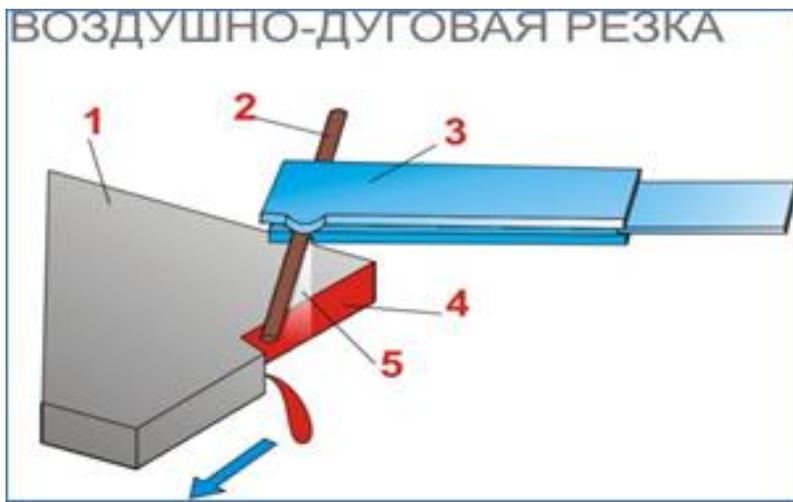


Рис. 2

При дуговой резке расплавленный металл удаляется из зоны резки механическим воздействием сварочной дуги и под действием собственного веса. Этим методом можно резать низкоуглеродистые стали, легированные, цветные металлы и чугун.

Воздушно-дуговая резка представляет собой новый способ обработки металлов и объединяет два физических процесса: расплавление металла теплом электрической дуги и выдувание жидкого металла струей сжатого воздуха. Окисление металла при этом происходит лишь как попутное явление, не влияющее на процесс резки.

Количество выплавленного металла зависит от количества тепла, подведенного электрической дугой, от теплоемкости и теплопроводности металла. Воздушно-дуговым способом можно резать углеродистую, легированную, высоколегированную сталь, чугун, бронзу, латунь, алюминий и его сплавы.

При правильном ведении процесса расплавленный металл полностью удаляется и поверхность основного металла, вследствие кратковременности воздействия нагрева, не изменяет своего состава. Воздушно-дуговая резка применяется при поверхностной обработке металла для выплавки дефектных участков корня сварных швов, срезки заклепок, разделки трещин, выплавки пороков в отливках, для V-образных подготовок кромок под сварку, для пробивки отверстий для соединительных скоб, заклепок и др.

Преимущество воздушно-дуговой резки - ее экономичность, возможность использования недефицитных материалов, простота оборудования.

При воздушно-дуговой резке используют угольные электроды диаметром 6-12 мм, длиной 250 мм и больше. Электроды при резке нагреваются до белого свечения и быстро «сгорают». При этом стержень заостряется и образует конус. Меньше нагреваются и более устойчивы в работе угольные омедненные электроды, а также угольно-графитовые, графитовые электроды.

Воздушно-дуговая резка наиболее производительна при использовании постоянного тока обратной полярности, а при резке цветных металлов -- прямой полярности.

При дуге прямой полярности под действием высокой температуры катод эмитирует электроны, получающие ускорение в катодной зоне и, тем самым, увеличивающие свою кинетическую энергию. Анод получает от столба дуги энергию в виде потока электронов и в виде теплового излучения. Эта энергия и энергия, выделяемая током за счет сопротивления раскаленного анода, расходуется на плавление металла на широком участке.

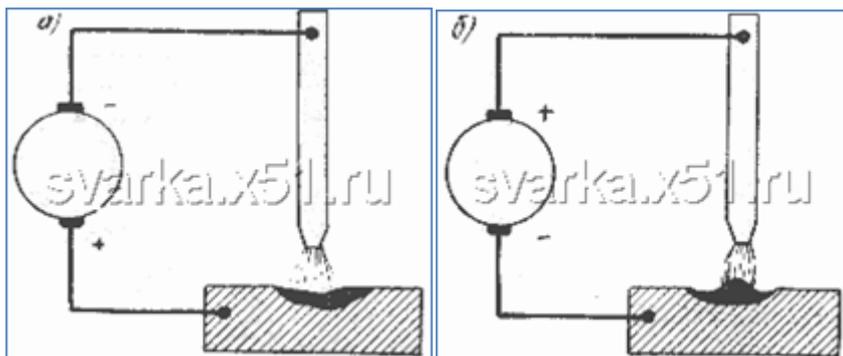


Рис. 3. Схема ванны расплавленного металла при горении дуги на прямой (а) и обратной полярности (б)

При этом образуется чашеобразное углубление, по которому растекается расплавленный металл (рис. а), удаление которого затруднено. Производительность резко падает.

При дуге обратной полярности расплавленный металл образует форму конического выступа (рис. б), который обусловлен тем, что движение потока электронов, направленное от катода к аноду (в данном случае от изделия), как бы центрирует массу расплавленного металла, стремясь увлечь металл в своем движении. Металл, расплавленный дугой обратной полярности, более подвижен и текуч. Струя воздуха легко удаляет жидкий металл.

### **Воздушно-дуговая резка металлов.**

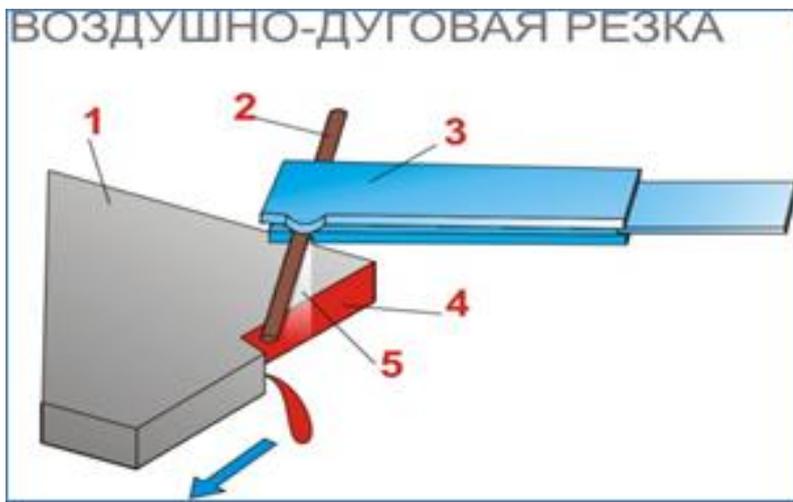


Рис. 2

При дуговой резке расплавленный металл удаляется из зоны резки механическим воздействием сварочной дуги и под действием собственного веса. Этим методом можно резать низкоуглеродистые стали, легированные, цветные металлы и чугун.

Воздушно-дуговая резка представляет собой новый способ обработки металлов и объединяет два физических процесса: расплавление металла теплом электрической дуги и выдувание жидкого металла струей сжатого воздуха. Окисление металла при этом происходит лишь как попутное явление, не влияющее на процесс резки.

Количество выплавленного металла зависит от количества тепла, подведенного электрической дугой, от теплоемкости и теплопроводности металла. Воздушно-дуговым способом можно резать углеродистую, легированную, высоколегированную сталь, чугун, бронзу, латунь, алюминий и его сплавы.

При правильном ведении процесса расплавленный металл полностью удаляется и поверхность основного металла, вследствие кратковременности воздействия нагрева, не изменяет своего состава. Воздушно-дуговая резка применяется при поверхностной обработке металла для выплавки дефектных участков корня сварных швов, срезки заклепок, разделки трещин, выплавки пороков в отливках, для V-образных подготовок кромок под сварку, для пробивки отверстий для соединительных скоб, заклепок и др.

Преимущество воздушно-дуговой резки - ее экономичность, возможность использования недефицитных материалов, простота оборудования.

При воздушно-дуговой резке используют угольные электроды диаметром 6-12 мм, длиной 250 мм и больше. Электроды при резке нагреваются до белого свечения и быстро «сгорают». При этом стержень заостряется и образует конус. Меньше нагреваются и более устойчивы в работе угольные омедненные электроды, а также угольно-графитовые, графитовые электроды.

Воздушно-дуговая резка наиболее производительна при использовании постоянного тока обратной полярности, а при резке цветных металлов -- прямой полярности.

При дуге прямой полярности под действием высокой температуры катод эмитирует электроны, получающие ускорение в катодной зоне и, тем самым, увеличивающие свою кинетическую энергию. Анод получает от столба дуги энергию в виде потока электронов и в виде теплового излучения. Эта энергия и энергия, выделяемая током за счет сопротивления раскаленного анода, расходуется на плавление металла на широком участке.

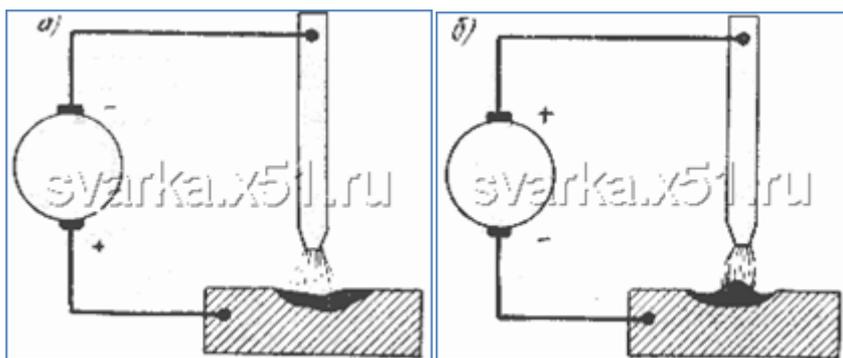


Рис. 3. Схема ванны расплавленного металла при горении дуги на прямой (а) и обратной полярности (б)

При этом образуется чашеобразное углубление, по которому растекается расплавленный металл (рис. а), удаление которого затруднено. Производительность резко падает.

При дуге обратной полярности расплавленный металл образует форму конического выступа (рис. б), который обусловлен тем, что движение потока электронов, направленное от катода к аноду (в данном случае от изделия), как бы центрирует массу расплавленного металла, стремясь увлечь металл в своем движении. Металл, расплавленный дугой обратной полярности, более подвижен и текуч. Струя воздуха легко удаляет жидкий металл.

### СВАРКА ВАННЫМ СПОСОБОМ

Ванный способ применяют при сварке стальных арматурных стержней диаметром 20—100 мм, стыков многорядной арматуры железобетонных сооружений, стыков фланцев, согнутых из полос большого сечения, а также других деталей.

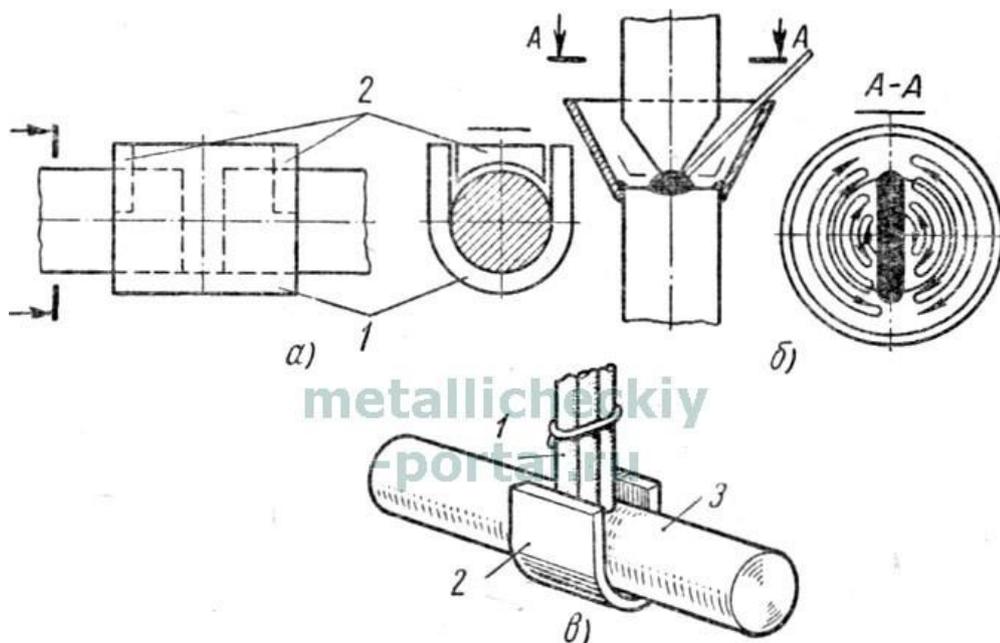


Рис. 133. Сварка ваннным способом стержней арматуры:

*a* — горизонтальных: 1 — форма, 2 — пластинки; *б* — вертикальных; *в* — горизонтальных гребенкой электродов: 1 — электроды, 2 — медная или керамическая форма, 3 — стержни

Для сварки ваннным способом горизонтальных стержней используют стальную форму 1 (рис. 133, *о*). При сварке трехфазной дугой применяют еще боковые ограничительные пластинки 2. Форма приваривается к металлу стыка и остается на стержне после окончания сварки. Перед сваркой торцы и боковые поверхности концов стержней зачищают стальной щеткой. Зазор между стержнями должен составлять 1,5 диаметра электрода (с покрытием). Несовпадение осей стержней не должно превышать 5% диаметра стержней. Используют также медные формы, удаляемые после сварки.

Горизонтальные стержни сваривают электродами диаметром 5—8 мм с покрытием УОНИ-13/45 или УОНИ-13/55. Режим сварки следующий:

Диаметр свариваемого стержня, мм	20	30	40	60
Диаметр электрода, мм	5	5	5; 6;	5; 6; 8
Ток, а	240	275	275; 300	450; 300; 400

Вначале расплавляют нижнюю стенку формы и сваривают ее с кромками стержней без добавления присадочных прутков. Постепенно производя колебательные движения электродом перпендикулярно осям стержней, заправляют все сечение стыка. Излишек шлака удаляют из ванны черпаком.

Металл ванны должен находиться все время в жидком состоянии, чтобы торцы стержней могли сплавляться с металлом ванны. После сварки половины сечения стыка дугу направляют преимущественно на среднюю часть ванны, уменьшая нагрев торцов стержней. Для предупреждения образования в стыке усадочных раковин ему придают утолщение высотой 2—3 мм. С целью увеличения коэффициента наплавки, понижения температуры ванны и снижения количества шлака в дугу дополнительно вводят стальные прутки. Слой шлака над поверхностью ванны не должен превышать 5—8 мм.

При сварке стыков арматуры трехфазной дугой применяют следующие режимы:

Диаметр стержней, мм	50	
Диаметр электрода, мм	6+6	8
Ток, а	280—400	450
Время сварки стыка, мин	2,5—3,2	6,25

Стыки вертикальных стержней сваривают с применением штампованной формы из листовой стали (рис. 133, б). Верхний стержень скашивают с двух сторон под углом 35°, оставляя на торце площадку шириной 4-6 мм. Зазор между торцами должен быть 2-3 мм. Форму предварительно приваривают по окружности к нижнему стержню. После этого конец верхнего стержня приваривают к нижнему и продолжают заполнение формы жидким металлом, перемещая электрод полукругами попеременно то с одной, то с другой стороны. Одновременно расплавляют поверхности торцов стержней и сплавляют их с металлом ванны. Избыток шлака выпускается через отверстия в стенке формы, специально прожигаемые электродом. Режимы сварки вертикальных стержней однофазной дугой следующие:

Диаметр стержней, мм	20	30	40
Диаметр электрода, мм	4	5	6
Ток, а	170—190	275—290	300—

Вертикальные стержни можно сваривать также трехфазной дугой на режимах, применяемых при сварке горизонтальных стержней.

При ванном способе сварки стержней может происходить зашлаковка их торцов, особенно в нижней части стыка, что снижает прочность соединения. Причиной зашлаковки является слишком быстрый отвод тепла от торцов свариваемых стержней. Для уменьшения зашлаковки следует предварительно подогревать торцы. Можно также усиливать охлаждение наружных участков шва путем искусственного охлаждения формы, а также применять формы из более теплопроводного металла, например меди. В этом случае шлаки собираются вблизи поверхности стыка, где происходит наиболее интенсивный отвод тепла.

Стыки стержней диаметром 30-80 мм выполняют многоэлектродной сваркой. В электрододержателе устанавливают параллельно 3-5 электродов, приваренных к пластине. Электроды плавят одновременно, заполняя стык жидким металлом. Собранный стык предварительно закрепляют прихватками. Для сварки используют электроды УОНИ-13/55 или УП-2/55. При таком способе сварки также используют медную форму вместо стальной подкладки (рис. 133, в).

В настоящее время арматурные стержни большого диаметра сваривают полуавтоматическим способом под флюсом с использованием керамической формы, которая после сварки разбивается и удаляется, а также автоматической электрошлаковой сваркой в медной форме.

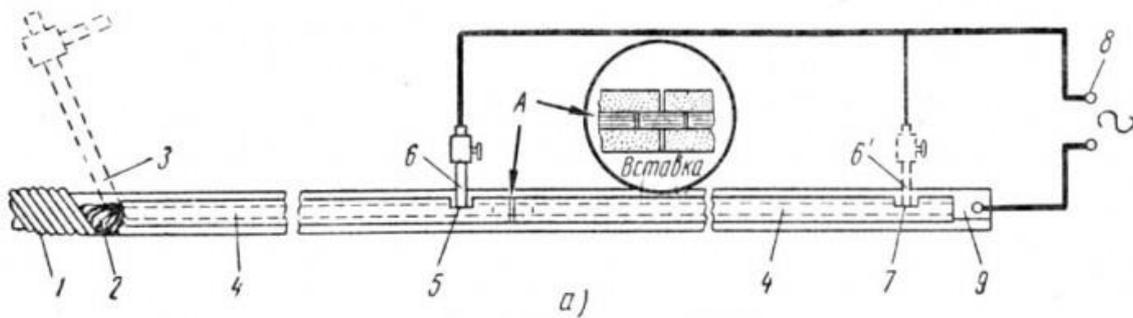
Ванный способ применяют также при дуговой сварке стыков рельс, используя электроды УОНИ-13/55А. Свариваемый стык рельсов помещают на планку, а с боков устанавливают симметрично зазору две половинки медной неохлаждаемой формы. Допускаемое отклонение свариваемых торцов от вертикали не должно превышать 2 мм. Зазор между торцами 16-18 мм.

Концы рельсов перед сваркой должны быть тщательно очищены от окалины, грязи, масла, напылов и остатков шлака после обрезки кислородом и др., на длине 150 мм в обе стороны от стыка. Величина тока берется следующей: при диаметре электрода 5 мм -275 а для рельсов типов Р-43 и Р-50; 325—350 а для рельсов типов Тв-60 и Тв-65; для диаметра электродов 6 мм — соответственно 325—400 а в зависимости от типа рельсов. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности. Поскольку сварка выполняется ванным способом и устойчивость горения дуги здесь не имеет решающего значения, можно применять также переменный ток.

Сварку производят в два приема: сначала сваривают подошву рельса, а затем и головку.

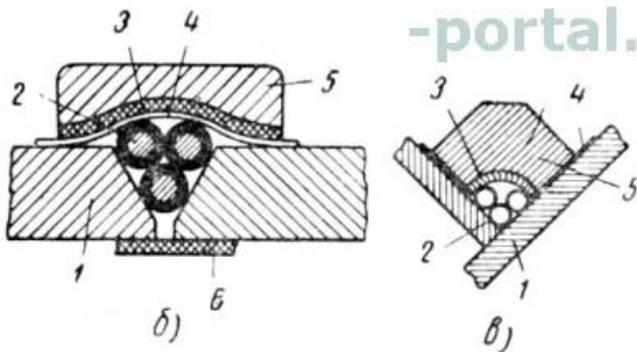
## **52. СВАРКА ЛЕЖАЧИМ ЭЛЕКТРОДОМ**

Схема сварки лежачим электродом дана на рис. 136 а. В разделку шва свариваемого металла 9 укладывается несколько покрытых электродов 4, соединяемых друг с другом вставками (см. схему в круге А). Вблизи второго конца электроды зачищены от покрытия на участках 5 и 7, к которым подключены контакты 6 и 6<sup>1</sup> сварочной цепи источника сварочного тока 8. Второй контакт цепи от источника тока подключен к свариваемому металлу 9. Дуга 2 возбуждается вспомогательным электродом 3 (стальным или графитовым). При плавлении электрода 4 образуется металл шва 1. Для ускорения процесса можно параллельно вести сварку дополнительным металлическим электродом 3, расплавляя его позади дуги лежачего электрода. После расплавления и израсходования первого по ходу сварки электрода 4 контакт 6 отключается и включается контакт 6<sup>1</sup>. Дуга 2 горит под слоем шлака, образуемого покрытием лежачего электрода. Длина каждого электрода берется равной 700—900 мм, диаметр 4—8 мм, толщина покрытия 1,5-3 мм, в зависимости от диаметра стержня. Применяются также трубчатые электроды из стальной трубки, заполненное флюсом и покрытые сверху тонкой обмазкой, уменьшающей влияние на дугу магнитного дутья при сварке. Лежачим электродом можно вести и многослойную сварку, закладывая в шов одновременно несколько электродов. В этом случае каждый электрод необходимо питать током от отдельного сварочного трансформатора. Способы укладки в шов нескольких электродов показаны на рис. 136, б и в.



metallischekiy  
-portal.ru

Рис. 136. Схемы сварки и укладки электродов:



а — сварка лежачими электродами:  
1 — шов, 2 — дуга, 3 — электрод для возбуждения дуги, 4 — лежачий электрод, 5, 7 — зачищенные участки, 6, 6' — контакты, 8 — источник сварочного тока, 9 — свариваемый металл; б и в — укладка в шов нескольких электродов:  
1 — свариваемый металл, 2 — электроды, 3 — медная накладка, 4 — бумага для предохранения медной и стальной накладок от подгорания, 5 — стальная накладка, 6 — нижняя подкладка

Полуавтоматический способ сварки лежачим электродом под флюсом предложен Д. А. Дульчевским и усовершенствован В. И. Кузнецовым и М. И. Кунисом. Применение этого способа для сварки углового шва двутавровой балки показано на рис. 137.

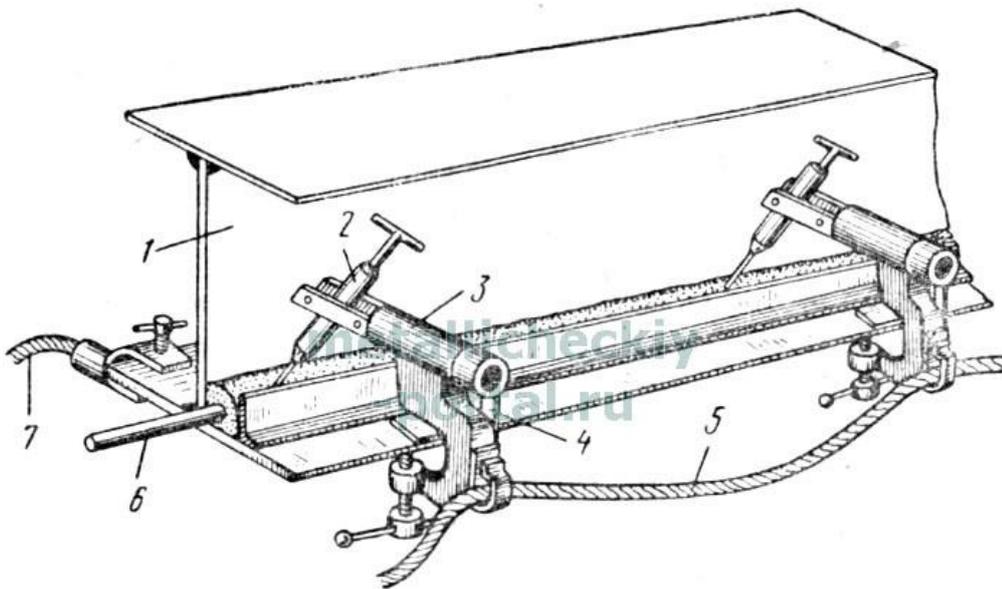


Рис. 137. Сварка лежачим электродом под слоем флюса:

1 — свариваемая балка, 2 — прижимные контакты, 3 — струбцины, 4 — пружины контактов, 5 и 7 — сварочные провода, 6 — электрод

Сварочная дуга под слоем флюса возникает между концом электрода и свариваемым металлом при включении тока. По мере плавления электрода дуга перемещается от одного контакта к другому, а расплавляемый металл уложенного в шов электрода образует валик сварного шва. Дуга под слоем флюса горит устойчиво и равномерно плавит электрод. Режим сварки следующий:

Диаметр электрода, мм . . . . .	4	10
Ток, а . . . . .	220—260	580—620

metallischekiy-portal.ru

Длина электрода может быть любой и ограничивается только прямолинейностью его стержня, способом подвода тока, а также возможностью обеспечить равномерный зазор между стержнем и свариваемым металлом по всей длине шва. Дуга возбуждается автоматически, для чего до засыпки флюса между концом электрода и основным металлом помещают кусочек графита или пучок тонкой проволоки. Данным способом могут свариваться не только прямолинейные, но также круговые или фигурные швы. Для каждого очертания шва требуется изготовить соответствующую ему раму, к которой крепятся прижимные контакты.

Для правильной оценки возможностей способа сварки лежачим электродом следует иметь в виду, что этот способ в свое время применялся при изготовлении деталей подвижного железнодорожного состава и листовых коробчатых конструкций в строительстве. В настоящее время этот способ имеет ограниченное применение, так как требует дополнительного времени на наладку и регулировку процесса, наличия соответствующих электродов и поэтому не всегда может конкурировать с современными полуавтоматическими и автоматическими способами сварки под флюсом, в углекислом газе и порошковой проволокой. Он может применяться в ряде производств, где приходится сваривать большое количество коротких прямолинейных, круговых и фигурных швов, в мелкосерийном производстве, в тех случаях, когда использование полуавтоматической сварки является экономически невыгодным или невозможно по другим причинам (например, отсутствие оборудования и пр.). Как и способ сварки наклонным электродом, сварка лежачим электродом также используется на судостроительных верфях в Японии.

Лежачий пластинчатый электрод с легирующим покрытием или засыпаемый легирующим флюсом можно применять также при наплавке плоских поверхностей деталей.

## СВАРКА НАКЛОННЫМ ЭЛЕКТРОДОМ

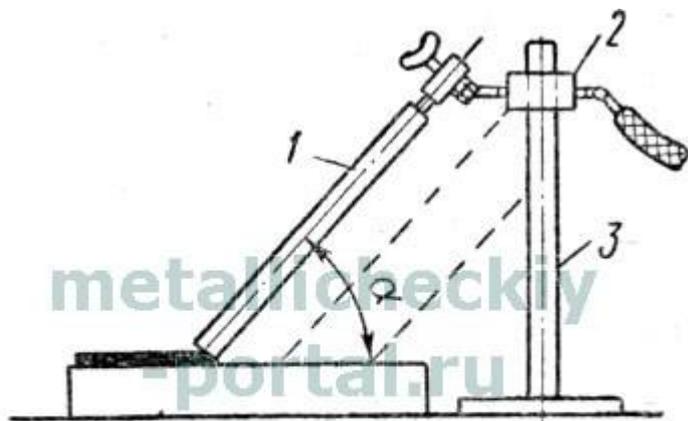


Рис. 135. Сварка наклонным электродом

Этот способ разработан А. А. Силиным в сварочной лаборатории Уральского вагоностроительного завода им. Ф. Э. Дзержинского. Электрод 1 с толстым покрытием ставится наклонно на шов, как показано на рис. 135. Один конец электрода зажат в контактах обоймы 2, которая может свободно опускаться по штанге 3, электрически изолированной от свариваемого металла. При оплавлении конца электрода последний опускается параллельно своей оси, а обойма при этом скользит вниз по штанге. Угол наклона оси электрода к основному металлу остается постоянным. Ток к электроду подводится через обойму. Дугу возбуждают замыканием конца электрода на металл с помощью второго (вспомогательного) электрода, например угольного. При горении дуги сварочный электрод опирается на металл краем козырька, образующегося на конце покрытия, что обеспечивает постоянство длины дуги и устойчивость ее горения. Чем больше угол наклона электрода к металлу, тем больше сечение наплавки. Угол наклона  $\alpha$  для электрода диаметром от 6 до 10 мм равен  $25\text{--}30^\circ$ . При угле наклона менее  $20^\circ$  наблюдается сильное разбрызгивание металла и качество шва ухудшается. Ток берется 40 а на 1 мм диаметра стержня электрода. Длина электрода должна быть не более 1200 мм. Для получения уширенного валика наплавки можно применять «гребенку» из нескольких электродов (3—5 шт.). Ток в этом случае берут на 50—70% большим, чем при обычной ручной сварке.

Данный способ дает хорошее качество наплавленного металла и пригоден для сварки коротких прямолинейных швов. Его преимущество состоит также в том, что один сварщик может обслуживать несколько постов сварки. Способ нашел применение также на зарубежных заводах, например на судостроительных верфях в Японии.

### Сварка трехфазной дугой

Этот способ разработан Г. П. Михайловым и был внедрен на Уральском заводе тяжелого машиностроения (УЗТМ). Этим способом целесообразно сваривать швы с

большим объемом наплавленного металла: при изготовлении конструкций из низколегированных и легированных сталей средней и большой толщины, наплавке твердыми сплавами, заварке дефектов стального литья.

Сущность способа (рис. 134, а) состоит в том, что двум электродам 3 и 4 и свариваемому металлу 1 ток подводится одновременно от трех фаз источника переменного тока. В результате возникают три одновременно горячие сварочные дуги: по одной между каждым из электродов и металлом (дуги 2 и 6) и дуга 5 - между электродами. При этом выделяется большое количество тепла, вследствие чего возрастает скорость плавления электродов и производительность сварки увеличивается в 2-3 раза по сравнению со сваркой однофазной дугой.

При непрерывном горении трехфазной дуги можно наплавить до 8 кг/ч металла при диаметре электродов 6 мм. Благодаря лучшему использованию тепла расход энергии на 1 кг наплавленного металла в среднем составляет 2,75 квт.ч вместо обычных 3,5-4 квт.ч при сварке на переменном токе, т. е. экономия электроэнергии составляет 20-30%.

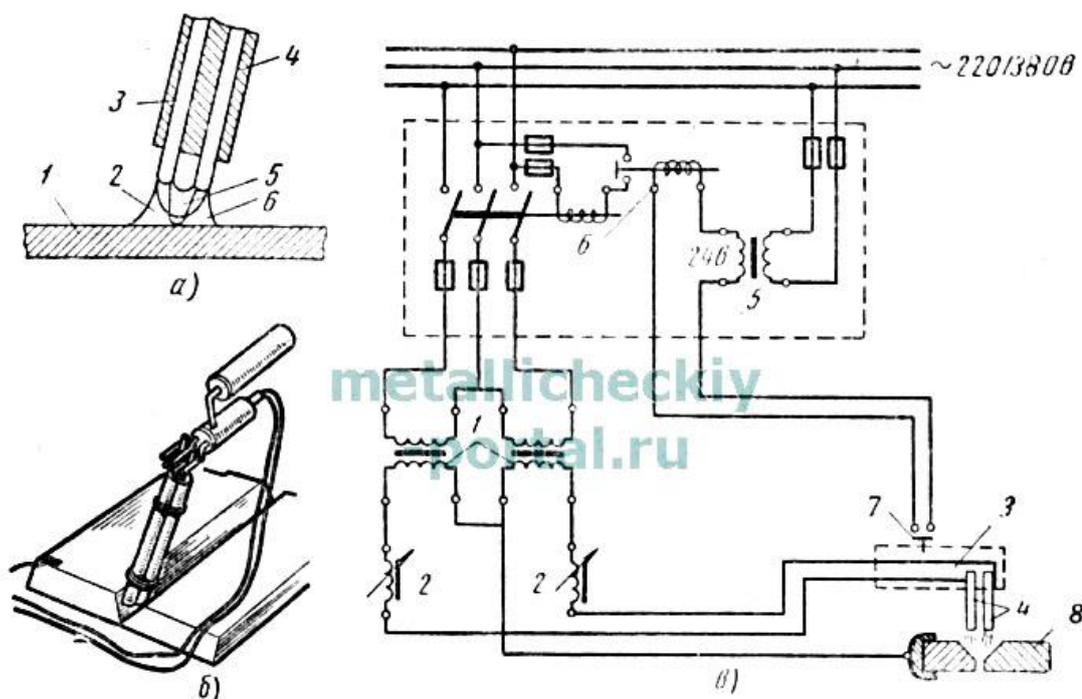


Рис. 134. Сварка трехфазной дугой:

а — схема процесса, б — сварка стыкового шва, в — схема включения двух трансформаторов открытым треугольником

Электроды для сварки трехфазной дугой состоят из двух параллельно расположенных стержней, имеющих общее покрытие. С одного конца электроды зачищены для присоединения к электрододержателю специальной конструкции, позволяющему подводить ток отдельно к каждому из электродов (рис. 134,б). При сварке две фазы присоединяют к электрододержателю, а третью — к свариваемому металлу.

Питание трехфазной сварочной дуги осуществляется от специальных трансформаторов: при ручной сварке — типа 3-СТ (система Н. С. Сиунова) и ТТС-400 (завода «Электрик»), при автоматической — ТТСД-1000 (завода «Электрик») и СТ-2Д (института электросварки им. Е. О. Патона).

Можно также пользоваться двумя однофазными сварочными трансформаторами СТЭ-32 или СТЭ-34, включенными по схеме открытого треугольника, как указано на рис. 134, в,

При включении кнопки 7 на электрододержателе 3 замыкается цепь вторичной обмотки вспомогательного трансформатора 5 и включается катушка электромагнитного контактора 6, вследствие чего возникает ток во вторичных обмотках трансформаторов 1 и образуются сварочные дуги между электродами 4 и свариваемым металлом.

Ток от каждого трансформатора 1 поступает через соответствующий регулятор (дрессель) 2 к электродам. Вторые концы обмоток трансформаторов 1 подключены к свариваемому изделию 8.

Трехфазной дугой можно сваривать стыковые и тавровые соединения в нижнем и наклонном (под углом до 45° к горизонтали) положениях. Тавровые соединения вследствие повышенной жидкотекучести наплавленного металла лучше сваривать в лодочку. Конец электрода при сварке должен касаться основного металла кромкой козырька покрытия, образующегося при плавлении. Это увеличивает глубину провара и уменьшает возможность образования пористого металла шва.

При сварке встык электродами диаметром 5 мм притупление кромок может составлять 4 мм, при диаметре 6 мм — 5 мм.

Режимы сварки стыковых и тавровых соединений трехфазной дугой следующие:

Толщина металла, мм . . .	10	10	25—30	свыше 30
Диаметр электродов, мм . .	5+5	5+5	6+6	8+8
Ток на один электрод, а . .	180—200	200—250	300—350	380—400

metallischeky-portal.ru

Сварка малоуглеродистой стали трехфазной дугой дает наплавленный металл с высокими механическими свойствами.

## 54. Сварка погруженной дугой

Способ сварки погруженной дугой (рис. 132) предложен Я. А. Ларионовым и применяется при односторонней сварке встык листов толщиной до 20 мм без скоса кромок. Этот способ дает экономию электродов, времени и затрат труда на подготовку кромок. Свариваемые листы помещают на стальную подкладку 1. На концах шва ставят ограничительные планки 2. Зазор между кромками должен на 1—1,5 мм превышать диаметр электрода. Для устранения сближения кромок от усадки наплавленного металла листы раздвигают под углом один к другому на 10—20 мм на каждый метр длины шва. Сварка выполняется электродами ОЗС-3, УОНИ-13 и другими, образующими при плавлении на конце чехольчик.

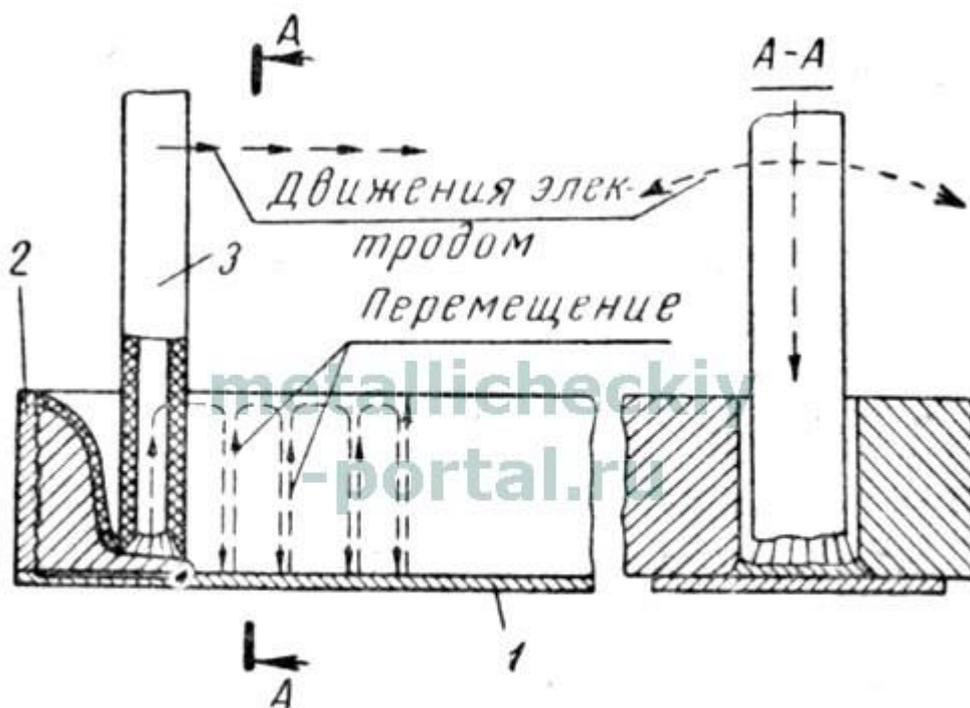


Рис. 132. Схема сварки погруженной дугой

Дуга возбуждается на стальной подкладке и по мере образования ванны электрод 3 поднимают вверх, наклоняя то к одной, то к другой кромке листов для их оплавления и сплавления с жидким металлом ванны. Заполнив один вертикальный слой шва, сварщик вновь опускает электрод на соседний участок и повторяет те же движения в процессе сварки шва по всей длине.

С поверхности сваренного шва удаляют шлак и накладывают декоративный шов, заполняющий неровности основного шва.

Сварку погруженной дугой выполняют электродами диаметром 4; 5 и 6 мм. Ток применяют максимально допустимый для электрода данного диаметра.

## Сварка решётчатых конструкций

К решетчатым конструкциям относятся фермы, фахверки, мачты, различные опоры и т. д. Они изготавливаются из профильного металла (двутавровых балок, уголка, листа, труб, швеллера и т. д.). В решетчатой конструкции вначале сваривают все короткие швы, соединяющие между собой однотипные элементы, применяя обратноступенчатый метод. Затем выполняют сварку данных длинных швов также обратноступенчатым способом, соблюдая определенную очередность наложения швов.

Фермы и другие решётчатые конструкции изготавливаются из металла толщиной до 10 мм; суммарная толщина редко превышает 40-60 мм. Длина швов обычно сравнительно мала, не более 200-400 мм; швы различным образом ориентированы в пространстве. Поэтому сварка таких конструкций выполняется обычно шланговым полуавтоматом в защитном газе, порошковой или садозащитной проволокой или вручную штучными электродами.

Ферма - это решетчатая конструкция - система стержней из профильного проката или труб, соединенных в узлах таким образом, что стержни испытывают растяжение или сжатие, а иногда сжатие с продольным изгибом. Металлические сварные фермы широко используют при строительстве промышленных и гражданских зданий, мостов, мачт, вышек и т. д. Это объясняется высокой прочностью и жесткостью ферм и небольшими затратами металла на их изготовление.

Применять автоматическую сварку при изготовлении решётчатых конструкций не экономично, независимо от типа производства (массовое, серийное, единичное). В серийном производстве решётчатых конструкций целесообразно применение сварки давлением (точечной), которая экономичнее сварки плавлением.

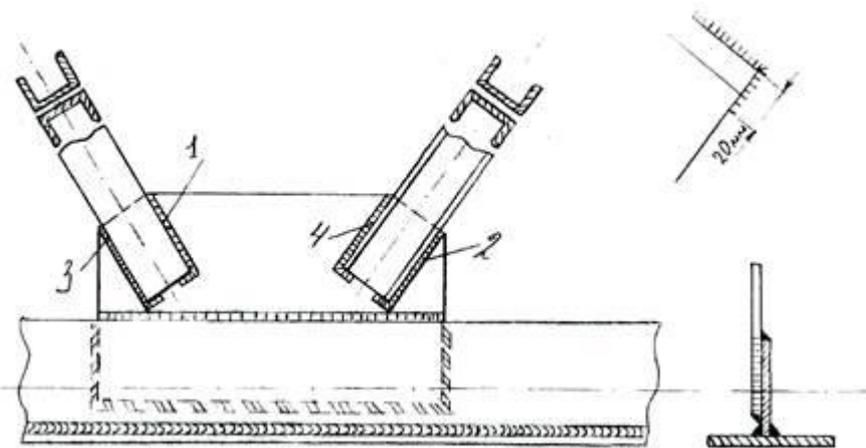


Рисунок 1.1.1. Порядок выполнения флангового (продольного) шва 1-4 - последовательность сварки

Стержни решётки, например, из уголков собирают с другими элементами обваркой по контуру, иногда фланговыми или лобовыми швами. При сварке только фланговыми швами требуемые площади швов распределяются по обушку и перу уголка обратно

пропорционально их расстояниям до оси стержня. Не рекомендуется применять прерывистые швы, а также швы с катетом менее 3 мм и длиной менее 60 мм.

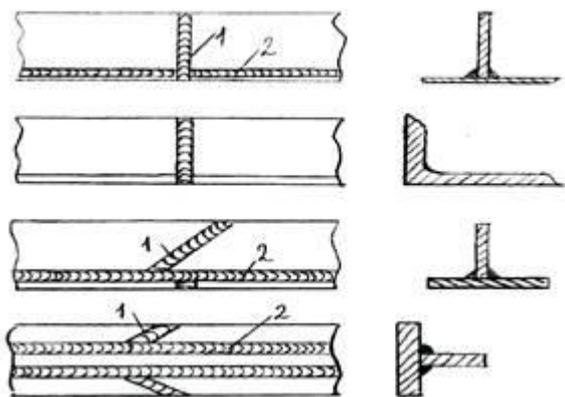
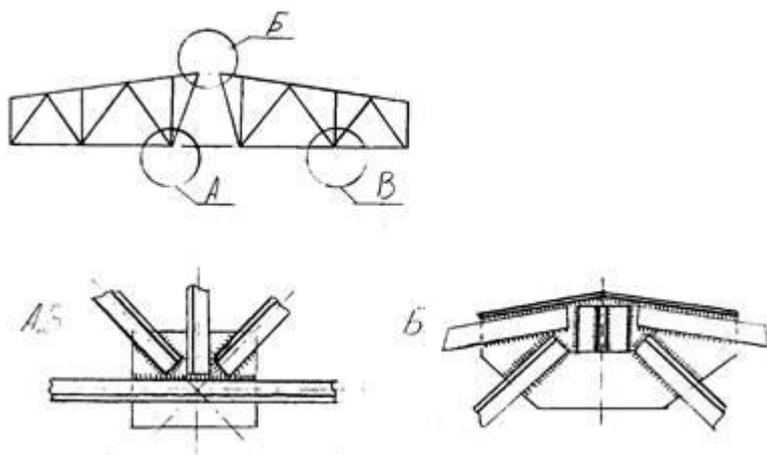


Рисунок 1.1.2. Последовательность выполнения швов 1 - стыковые, 2 - угловые

Концы фланговых швов выводят на торцы привариваемого элемента на длину 20 мм, что гарантирует прочность сварных соединений.



В первую очередь следует выполнять стыковочные швы, а затем уже угловые.

Рисунок 1.1.3. Узлы стропильной формы

Так как усадка металла максимальна в стыковых соединениях и минимальна в угловых, но при указанном порядке наложения швов в сварном узле будет менее напряжённый металл. Близко расположенные друг к другу швы не следует выполнять сразу; надо охладить этот участок основного металла, на котором будет выполняться второй, близко расположенный шов. Это необходимо предусматривать для того, чтобы уменьшать перегрев металла и величину зоны пластических деформаций от сварки: в результате этого работоспособность сварного узла возрастает. Собирают и сваривают фермы по разметке, по контуру и в кондукторах, на стендах и стеллажах, обеспечивающих точность геометрических размеров и пересечения осей соединяемых элементов в одной точке - центре тяжести сечения данного узла. Узлы фермы сваривают последовательно от середины к опорам, находящимся в более податливом состоянии, чем середина фермы, в этом случае напряжения металла в узлах фермы

будут минимальными. При наличии швов различного сечения в начале накладывают швы с большим сечением, а затем с меньшим. В решётчатых конструкциях каждый элемент прихватывается с двух сторон швами длиной не менее 30-40- мм с катетом шва не менее 5 мм (не более 2/3 будущего шва) в местах расположения сварных швов. Сборочные прихватки выполняются сварочными материалами тех же марок, какие используются при сварке конструкций.

При заготовке элементов для сборки фермы в первую очередь определяют минусы раскосов и стоек в узлах фермы путем расчета или шаблонирования. Минусом называется та величина, на которую нужно уменьшить теоретическую длину элемента (расстояние между узловыми точками), чтобы получить его действительный размер. Зная величину минусов, заготавливают из соответствующего профиля элементы требуемой длины. На поясах намечают осевые линии и на них размечают узловые точки, а на концах элементов решетки намечают по осевым линиям риски.

Сборка и сварка плоских ферм производится преимущественно на стеллажах или на козлах, хорошо выверенных по уровню. Процесс сборки плоской фермы выполняется примерно в такой последовательности.

1. На стеллажах, пользуясь фиксаторами, ограничителями и закрепляющими устройствами, выкладывают согласно чертежу первые ветви верхнего и нижнего пояса фермы.
2. В узловых точках поясов устанавливают косынки, прижимают их струбцинами или скобками к ветвям поясов и прихватывают.
3. Проверяют правильность положения поясов и узловых точек, измеряя линейкой или струной по направлению стоек, раскосов и связей их теоретическую длину между взаимно противоположными точками и одновременно наносят на косынках риски по направлению элементов решетки.
4. Выкладывают первые ветви стоек и раскосов, выдерживая величину минуса в каждом узле и, ориентируясь по совпадению рисок на косынках и на концах стержней решетки, прижимают стержни к косынкам и ставят прихватки.
5. Кантуют собранную ветвь фермы на  $180^\circ$ , выкладывают согласно чертежу прокладки на поясах и элементах решетки, прижимают их и прихватывают.
6. Выкладывают вторые ветви поясов, стоек, раскосов и связей, ориентируясь по первой ветви каждого элемента, прижимают их и прихватывают к косынкам и прокладкам.
7. Производят сварку собранной фермы. Сварку узлов начинают от середины фермы и ведут симметрично к ее концам. В каждом узле сначала приваривают косынки к поясам, а затем стойки и раскосы к косынкам.

8. Кантуют второй раз ферму на  $180^\circ$  и производят в таком же порядке сварку узлов со стороны первых ветвей поясов, стоек и раскосов. Если после выполнения рабочих операций по сборке фермы, указанных в п. 4, произвести на первой ветви сварку узлов, как описано в п. 7, то вторая кантовка фермы станет излишней. При этом деформация фермы из ее плоскости после сварки узлов на первой ветви будет увеличена и возможно потребуются правка ее. После выполнения сварки узлов на второй ветви фермы (после ее кантовки) эта деформация станет значительно меньше.

9. После сварки всех швов ферма подвергается заключительным операциям, по окончании которых поступает в склад готовой продукции.

## **56. Сварка балочных конструкций.**

Балки широко применяют в конструкциях гражданских и промышленных зданий, в мостах, эстакадах, гидротехнических и других сооружениях.

Балки со сплошным сечением стенки изготавливают из листового металла. Применяют в основном балки двутаврового сечения, реже - коробчатого.

В условиях единичного производства балки собирают по разметке и сваривают вручную покрытыми электродами или полуавтоматами. При массовом и серийном производстве сборку производят в кондукторах, а сварку ведут автоматами под флюсом или для швов катетом 4 - 6 мм - в защитном газе.

Ручную или полуавтоматическую дуговую сварку применяют в балках также и при установке ребер жесткости. Неудобства при выполнении этой операции не позволяют применить автоматическую сварку.

Удлинение балок соединением встык коротких секций производится ручной дуговой сваркой покрытыми электродами. В массовом производстве на этой операции возможна также и автоматическая дуговая сварка.

При монтаже балок в первую очередь сваривают стыковые, а затем угловые швы. Порядок сварки монтажных стыков прокатных балок показан на рис. 150, *а*. Сначала стыковые швы выполняют на толстом металле, а затем на тонком. Обычно полки двутавровых балок толще стенки. Поэтому для обеспечения минимальных напряжений в металле стыка следует сначала накладывать стыковые швы в полках и в последнюю очередь стыковой шов в стенке.

Сварные балки на монтаже соединяют с совмещенным (рис. 150, *б*) или со смещенным (рис. 150, *в*) стыком.

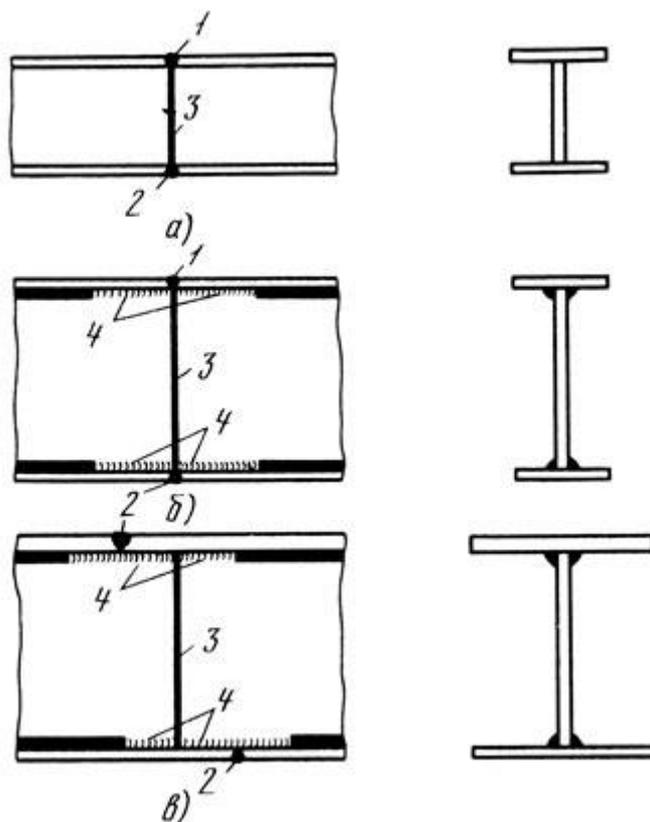


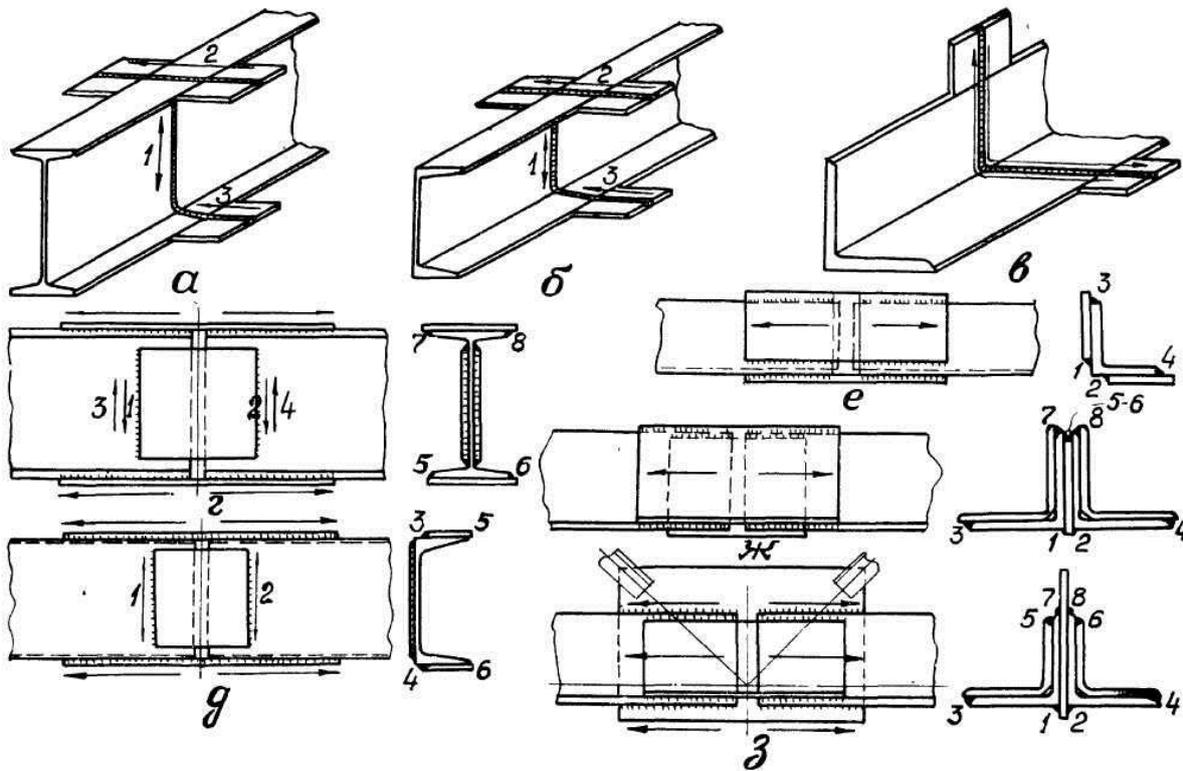
Рис. 150. Порядок сварки монтажных стыков балок: а - прокатных, б и в - сварных; 1 - 4 - последовательность выполнения сварки

Последовательность сварки в этих случаях аналогична последовательности сварки встык прокатных балок; в первую очередь выполняют стыковой шов полки с увеличенной толщиной (если двутавр с различными толщинами полок), затем накладывается второй стыковой шов второй полки, третьим швом сваривается стык стенки (самый тонкий в двутавре) и четвертым - угловые поясные швы (рис. 150). Продольные швы обычно не доводят до концов балки на величину, равную одной ширине полки (из низкоуглеродистой стали) или двум (из легированной стали). В этих случаях деформирование и напряжение металла в стыковых соединениях полок и всего стыкового соединения балки будет равномерным и минимальным. Угловые швы в монтажном стыке выполняются в последнюю очередь. При этом желательно, чтобы угловые швы накладывались одновременно двумя сварщиками - от концов к середине шва.

Ребра жесткости можно приваривать как к стенке, так и к полке балки в любой последовательности после предварительной их прихватки. Прихватки размещаются в местах расположения сварных швов. Высота прихваток должна быть не более  $\frac{2}{3}$  высоты шва, чтобы при последующей сварке они были перекрыты швом, и не менее 4 - 6 мм для прихватываемых ребер жесткости толщиной 6 мм и более. Длина каждой прихватки должна быть равна 4 - 5 толщинам прихватываемых элементов, но не менее 30 мм и не более 100 мм, а расстояние между прихватками - в 30 - 40 раз больше толщины свариваемого металла.

## Сварка двутавровых балок между собой.

Монтаж балочных металлоконструкций предусматривает соединение двутавров встык или под углом. Для усиления соединений используют металлические накладки – прямоугольники, вырезанные из листового проката.



### Сварка двутавров

а, б, в — встык; г, д, е, ж, з — накладками; → — направление сварки; 1—8 — очередность наложения швов.

Сварка балок встык проводится после обработки торцов. На них делают угловые скосы, чтобы шов хорошо проварился. Дополнительно на каждую из сторон стенок и обе полки обязательно крепят накладки, их приваривают для укрепления и защиты соединительного шва. При таком соединении несущая конструкция из двутавровых балок после сварки не снижается.

Под углом двутавры соединяют так, чтобы второстепенный опирался на главный. В верхней полке главного вырезают равнобедренный треугольник с вершиной в  $90^\circ$ . Его место займет аналогичная вставка второстепенного двутавра, срезы должны плотно прилегать друг к другу. Нижняя полка срезается на  $\frac{1}{2}$  ширины так, чтобы срез упирался в полку главной двутавровой балки. Сварка проводится заподлицо. Усиливается соединение нижней накладкой.

Второстепенный швеллер приваривается к опорному двутавру под углом 90°. Сначала стыкуют верхнюю полку швеллера с балочной полкой, срезая их под углом 45°. Нижние полки соединяются так, чтобы швеллер упирался в стенку двутавровой балки, лишнее срезается. Затем наваривается нижняя укрепляющая накладка.

В горизонтальном положении сварку проводить легче. Продольная ось искривляется минимально. При вертикальной сварке возможен прогиб поперечин, поэтому проводят разметку всех ребер жесткости.

Накладки для сварки двутавра выкраиваются в форме ромба, размещаются симметрично продольной оси. Обвариваются косыми швами по всему периметру. Накладки концентрируют напряжение у швов, компенсируя изменившуюся после сварки форму сечения.

Двутавровые балки рассчитывают на большую нагрузку. При работе с ними необходимо придерживаться разработанной технологии. Она учитывает распределение усилий по направляющим. Качественно выполненные сопряжения – залог долгой эксплуатации металлоконструкций.

### **Возможные дефекты**

Во время сварки двутавровой балки из-за несоблюдения технологии возникает кристаллизация стали от высокой температуры. Из-за расхождения по фазам в металле возникают внутренние напряжения. Снижается прочность и жесткость, увеличивается риск коррождения.

#### **При сварке стальных листов возможны и другие дефекты:**

- нарушение формы шва отклонение от формы наружных поверхностей или геометрии стыка;
- прожоги, когда расплав вытекает из ванны, образуются дырки в шве;
- подрезы – канавки вдоль границы соединения;
- трещины, образующие в местах разрыва шва;
- шлаковые или вольфрамовые включения в диффузионном слое, при высокой скорости сварки образуются тугоплавкие оксиды.

Металлоизделия с дефектами ненадежные, они не выдержат большой нагрузки на изгиб, кручение. Их отбраковывают и проваривают снова, если это возможно

([milling-master.ru](http://milling-master.ru))

## 57. Общие сведения о сварке трубопроводов.

Успех такого сложного соединения во многом зависит от правильного выбора способа **сварки труб**, который выбирают для конкретного вида металла.

В целом же лучшим вариантом для соединения труб признаётся электродуговая сварка.

Но это под силу только сварщику, имеющему хотя бы минимальный опыт работы. Новичку желательно сначала потренироваться.

При работе с трубами из толстого металла лучше использовать непрерывный способ сварки при токе в 40-60 ампер. Важно именно проварить металл, а не прорезать его. При этом электрод ведётся не очень быстро – иначе качество шва пострадает.

Прерывистую точечную *сварку труб* применяют при сваривании тонкостенных труб. Здесь необходимо строго следить за процессом, потому, что стенки легко проварить насквозь. Для соединения тонких труб лучше использовать полуавтоматы. Они работают с малой силой тока, обеспечивая отличное качество как непрерывного, так и точечного сварного шва.

### Сварка медных труб

Выбор способа **сварки медных труб** зависит от назначения соединяемых труб, герметичности шва и иных характеристик. Применяют три метода сварки – электродуговую, контактную и газовую.

Наиболее перспективной признаётся электродуговая сварка с использованием неплавящегося электрода из вольфрама и присадочной проволоки, в состав которой добавлены раскислители.

В качестве защитного газа целесообразно использовать азот, потому что сварка получается дешёвой.

Однако при работе с тонкостенными медными трубами лучше применять аргон.

### Сварка стальных труб

Самой востребованной остаётся **сварка стальных труб** – как в производстве, так и в быту. Здесь существенную роль играет квалификация сварщика. Что касается сварочного оборудования, то используются электросварки, газосварки и полуавтоматы.

Перед началом сварки проводят предварительную тщательную очистку кромок от загрязнений и окислов, затем снимают фаску, что позволит получить V-образную площадь, благодаря которой шов станет прочным и герметичным.



При сварке газовой горелкой достаточно одного шва. С целью исключения непровара окончание шва немного накладывается на начало. Сорт присадочного материала должен быть одинаковым с металлом свариваемой трубы.

А самыми распространёнными на сегодня являются электросварка и полуавтоматическая. В обоих случаях процесс начинается с подготовки свариваемых труб. Затем соединяемые части центрируют и равномерно прихватывают в трёх-четырёх точках.

Первый шов «тройкой». Важно заполнить фаску по высоте всего на две трети. После очистки шва от шлака и проверки качества работы, меняют электрод «четвёрку» и приступают к нанесению дополнительного шва.

### **Сварка оцинкованных труб**

Специальная технология **сварки оцинкованных труб** позволяет соединять их, не нарушая цинкового покрытия. На место стыковки наносят флюс, который и обеспечивает защиту от выгорания покрытия. Под флюсовым слоем цинк сначала от воздействия тепла становится вязко-жидким, затем расплавляется, но не выгорает и не испаряется. По завершению сварки это обеспечивает защиту от коррозии.

При работе с оцинкованным материалом крайне важно наличие вентиляции. В противном случае от цинковых паров сварщик может «заработать» лёгочное заболевание или хуже того, задохнуться.



## Сварка профильных труб

Основной способ **сварки профильных труб** – обычное соединение торцов встык. Выполняют её дуговым или газовым методом, но благодаря простоте и качественному шву больше распространён первый из них. Однако электросварка профильной трубы требует опыта работы сварщика, хотя бы небольшого.

Много зависит, к примеру, от правильного подбора электрода. Чем он толще, тем мощнее дуга. Излишне толстым электродом профильную трубу можно прожечь, а слишком тонким получить непрочный шов. Учитывая то, что для данного изделия характерная толщина составляет 1,5-5 мм, подойдут «двойка и «тройка».

При работе с профильными трубами важна скорость движения электрода по материалу. Если замедлиться, то есть риск прожечь деталь, при убыстрении – получить некачественный шов. Оптимальное движение подбирается опытным путём.

## Сварка газовых труб

Настоящего профессионализма требует **сварка газовых труб**, которая довольно опасна. Работать нужно быстро и качественно.

Перед началом соединения обрабатывают кромки труб: очищают от загрязнений. Если труба толстостенная – больше 4 мм, то производят скос кромок для облегчения прогрева металла на месте контакта.

Практикуются два способа сварки газовых труб:

- сварка слева направо. Применяют тогда, когда толщина металла больше 5-ти мм. Дуга направляется на уже приваренный участок, вместе с горелкой перемещается присадка. Вариант экономит расход газа и повышает производительность на 25%;
- сварка справа налево. Здесь горелку продвигают по не приваренным участкам – присадочная проволока «идёт впереди паровоза». Лучший метод для работы с тонкостенными газовыми трубами.

## Сварка трубопроводов

Способ электродуговой сварки трубопроводов часто применяют при монтаже или изготовлении технологических линий. Производятся они на постоянном или переменном токе.

Экономичным, а значит, более выгодным является сварка на переменном токе, потому что получается меньший расход энергии. Да и оборудование требуется более доступное.

### 58. Сварка неповоротных стыков труб

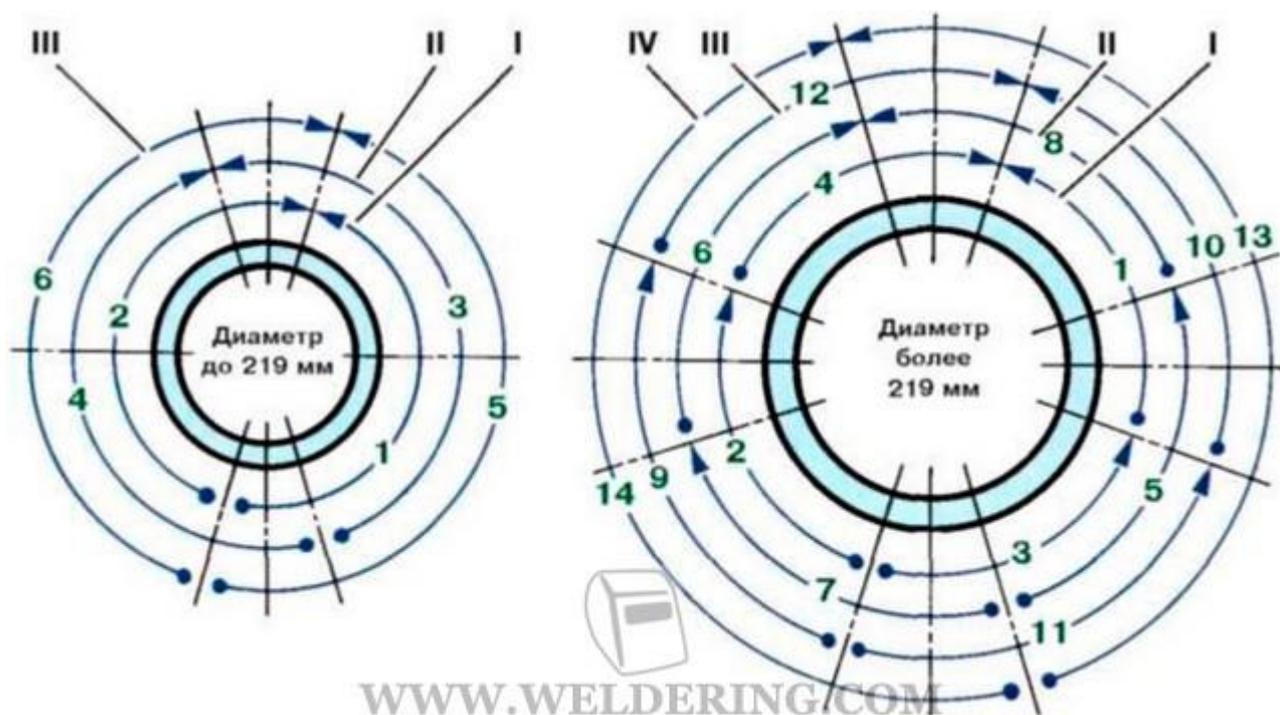
Вертикальные неповоротные стыки сваривают снизу вверх.

Сварку первых трех слоев в стыках труб диаметром более 219 мм следует выполнять обратноступенчатым способом. Длина каждого участка должна быть 200-250 мм.

Длина участков последующих слоев может составлять половину окружности стыка.

Стыки труб с толщиной стенки до 16 мм можно сваривать участками длиной, равной половине окружности, начиная со второго слоя.

Очередность выполнения швов (1-14) и слоев (I-IV) одним сварщиком

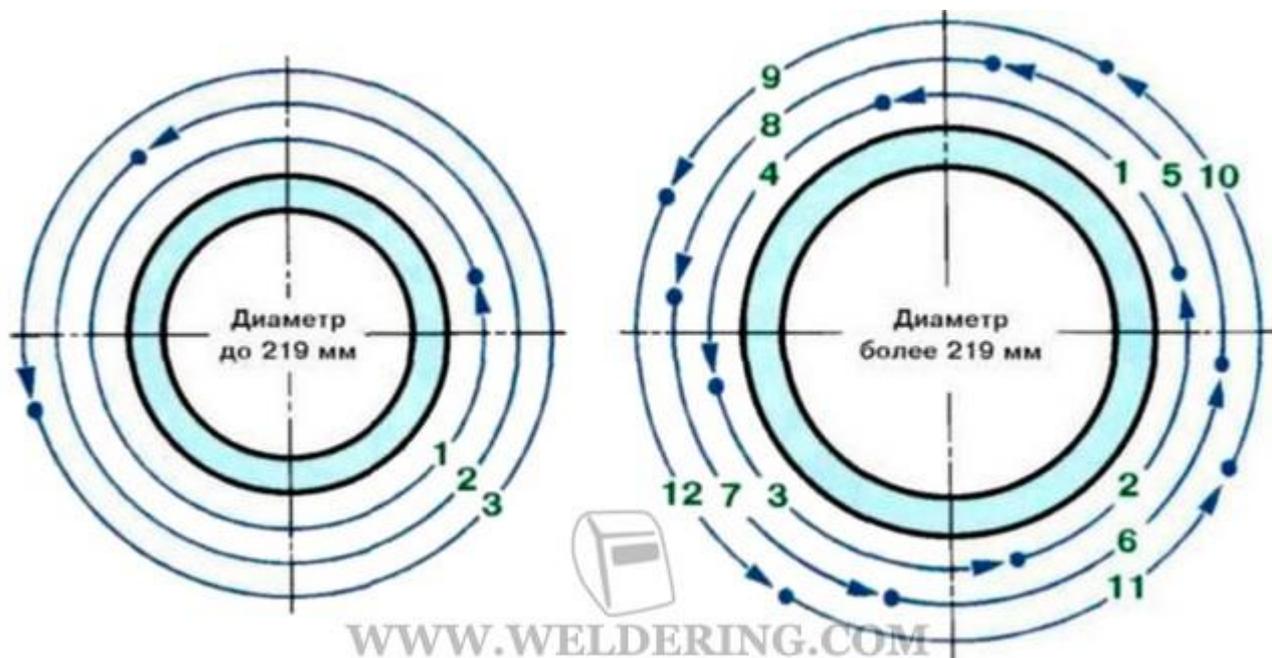


Очередность наложения первого слоя двумя сварщиками при сварке неповоротных стыков труб диаметром более 219 мм



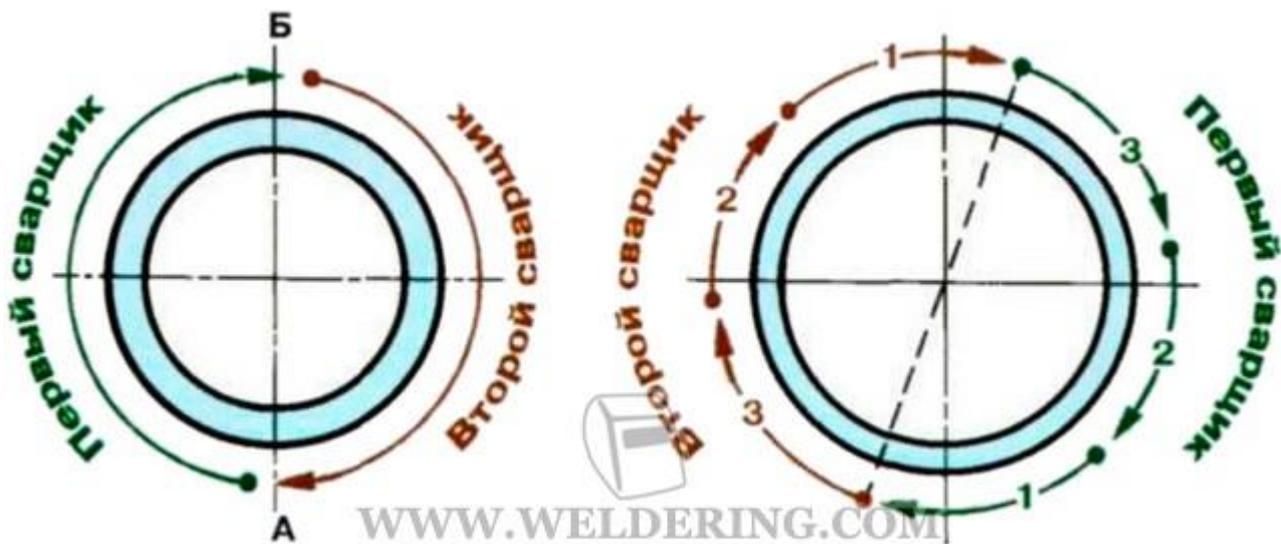
**Горизонтальные неповоротные стыки** труб диаметром более 219 мм, выполняемые одним сварщиком, необходимо сваривать обратноступенчатым способом участками длиной 200-250 мм. Четвертый и последующие слои можно сваривать вкруговую.

Очередность (1-12) выполнения швов одним сварщиком



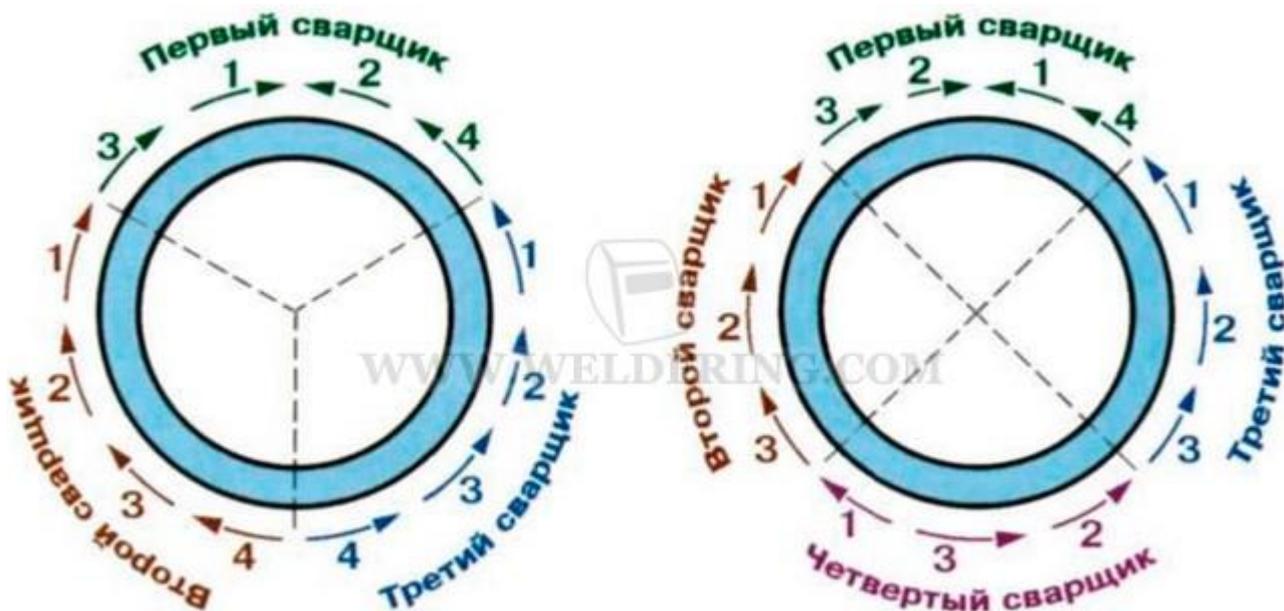
При сварке горизонтального стыка двумя сварщиками последовательность сварки корневого шва зависит от диаметра труб. Если диаметр менее 300 мм, то каждый сварщик заваривает участок длиной в половину окружности. В один и тот же момент сварщики должны находиться у диаметрально противоположных точек стыка. Если диаметр труб 300 мм и более, то корневой шов сваривают обратноступенчатым способом участками по 200-250 мм.

В стыках труб диаметром до 300 мм с толщиной стенки более 40 мм первые три слоя следует сваривать обратноступенчатым способом, а последующие слои - участками, равными половине окружности.

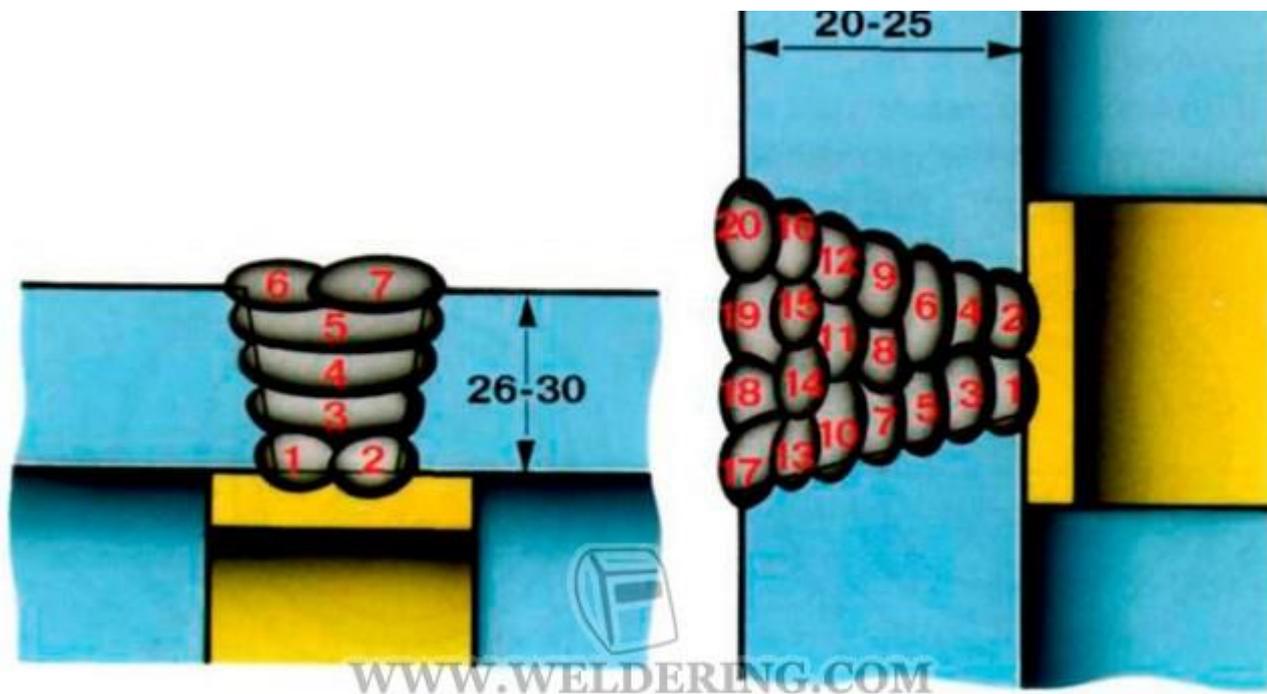


Стыки труб из низколегированных сталей диаметром свыше 600 мм при толщине стенки 25-45 мм сваривают так: все слои шва выполняют обратноступенчатым способом участками не более 250 мм.

Трубы диаметром более 600 мм из хромомолибденованадиевых сталей сваривают одновременно двое и более сварщиков, у каждого из которых свой отрезок стыка. Применяют обратноступенчатый способ (участки по 200-250 мм). Четвертый и последующие слои допускается выполнять участками, равными четверти окружности.



Очередность выполнения и примерное расположение слоев и валиков (1 - 20) при сварке вертикального и горизонтального стыков толстостенных труб из углеродистых и низколегированных сталей



### 59. Горизонтальная сварка труб.

Горизонтальная сварка труб осуществляется при положении электрода углом вперед, углом назад, прямым углом. Каждый из этих технологических приемов предназначен для работы в разных условиях.

Метод «углом вперед» обычно выбирают, когда требуется соединить элементы горизонтальным и вертикальным швами при верхнем расположении деталей в пространстве, то есть во время потолочной сварки. Кроме того, данный подход позволяет без труда справляться со сваркой труб и с формированием горизонтальных неповоротных стыков либо с изготовлением самодельной печки из газового баллона.

Если электрод находится строго под углом  $90^\circ$  к поверхности изделия, удастся производить работы даже в труднодоступных местах.

Метод «угол назад» необходим, чтобы качественно осуществлять горизонтальные сварочные работы на угловых стыках.

Подход «углом вперед» чаще всего используется в процессе работы с тонкостенными металлами. Дело в том, что подобное положение электрода позволяет добиться широкого шва малой глубины. Тогда как на толстостенных металлах стараются

Сила тока, А	Диаметр электрода, мм	Толщина металла, мм
35–50	1,6	1-2

отдавать предпочтение методу «углом назад», поскольку он позволяет прогреть металл на большую глубину.

Однако к значимым факторам, способным повлиять на качество шва, относится не только способ, выбранный для горизонтальной сварки труб, но и значение силы тока и скорость перемещения электрода. Работа с большой силой тока сопряжена с прогревом металла до большой глубины, за счет чего удастся увеличивать скорость перемещения электрода. Когда удастся задать оптимальное соотношение тока и скорости, получается ровный качественный шов.

Таблица соответствия силы тока, толщины электрода и обрабатываемого металла:

45–80	2	2-3
55–100	2,5	3-4
85–150	3	4-5
125–200	4	5-6

При выборе определенной скорости передвижения электрода важно учитывать мощность дуги. Дело в том, что при слишком быстрой подаче электрода и недостаточной силе тока не удастся добиться необходимой температуры прогрева. В итоге металл не будет проварен до нужной глубины, получится поверхностный шов, скрепляющий только границы кромок.

Возможна и обратная ситуация: при недостаточно быстром продвижении электрода происходит перегрев, а это может привести к деформации заготовки по линии сваривания. Если приходится работать с металлическими изделиями малой толщины, мощная дуга прожигает материал.

### **Технология горизонтальной сварки**

Метод сварки горизонтальных неповоротных стыков труб отличается от других подходов тем, что при нем необязательно полностью разделять кромки. Допускается сохранение только несущественной разделки в  $10^\circ$ . При таком подходе используют среднюю дуговую сварку, в результате чего удастся улучшить соединение элементов из металла и при этом не снизить их качество.

Для сварки горизонтальных стыков трубопровода рекомендуется использовать обособленные неширокие слои. В первую очередь ведется работа с корнем шва – для его проварки лучше всего подходят электроды диаметром 4 мм. В соответствии с законом Ома, сила тока должна находиться в пределах 160–190 А. За счет возвратно-поступательных движений электрода внутри стыка должен сформироваться нитевидный валик 1–1,5 мм высотой.

Далее покрытие первой прослойки должно быть тщательно зачищено, и можно переходить ко второй прослойке. Ее выполняют таким образом, чтобы она закрывала предыдущий слой. Для этого электрод снова совершает возвратно-поступательные движения, кроме того, сварщик делает едва заметные покачивания между краями верхней и нижней кромок. По направлению первый и второй слой совпадают.

Перед переходом к третьей прослойке силу тока повышают до уровня в 250–300 А. Чтобы повысить производительность работы, теперь рекомендуется выбирать электроды диаметром 5 мм. При варке третьего слоя выбирают направление, противоположное использованному до этого. Кроме того, третий валик обычно формируют на более высоких режимах, а чтобы он был выпуклым, подбирают соответствующую скорость. На данном этапе горизонтальной сварки труб используют метод «углом назад» либо под прямым углом. Отметим, что третий валик должен заполнять две трети ширины предыдущего.

При работе с четвертым валиком используют те же режимы, что и для третьего. Угол наклона электрода относительно вертикальной поверхности трубы должен быть в пределах 80°–90°. При этом не изменяется направление варки.

Нужно понимать, что если накладывается более трех прослоек, то у технологии электросварки с горизонтальными стыками появляется одна особенность – направления работы, начиная с третьей прослойки, чередуются. Для труб диаметром в 200 мм обычно используют сварку сплошными швами. Обратноступенчатый способ горизонтальной сварки труб применяют, когда диаметр превышает 200 мм. Считается, что каждый участок должен иметь длину около 150–300 мм.

- **Сварка трубопровода под углом 45°.**

При данном типе горизонтальной сварки труб шов находится под определенным углом. Для его формирования необходимо выполнить целый ряд действий с электродом, в том числе изменять направления сварки и угол наклона. Это и является ключевой особенностью данного способа сварки труб, который требует от сварщика немалого опыта, достаточно высокого уровня профессионализма и универсальных навыков. Все названное наиболее актуально, когда речь идет о горизонтальной сварке труб в системах с повышенными требованиями к герметичности.

### **Технологию горизонтальной сварки труб под углом 45° подбирают в соответствии с диаметром свариваемых изделий:**

1. Газовые трубы не более 200 мм варят несколькими слоями подряд. Для этого трубу плавно проворачивают, не прекращая сварку, по мере заполнения шва.
2. Другие виды труб средних диаметров соединяют, разделив окружность на четыре сегмента, после чего осуществляют их последовательную проварку. Когда наплавлены первые два сегмента, трубопровод поворачивают на пол-оборота и продолжают работу.
3. Трубы значительного размера, то есть не менее 50 см, сваривают несколько иначе. Их окружность делят на большее количество сегментов, таким образом, чтобы длина одного сегмента была в пределах 150–300 мм.

### **60. Контроль качества сварки труб**

После сварки труб в горизонтальном положении необходим контроль качества получившихся швов. Этим в течение всего периода сварочных работ занимается строительно-монтажная организация. Обязательно оценивается качество применяемых материалов, техническое состояние сварочного оборудования и инструмента, квалификация специалистов, осуществляющих горизонтальное соединение труб.

Кроме того, проверяют качество работ по операциям при сборке, прихватке и положении швов, производят внешний осмотр участков соединения. Также обязательно производится проверка сплошности швов при помощи физических методов, механические испытания образцов, взятых из контрольных стыков. Еще одним обязательным этапом являются пневматические или гидравлические испытания законченного теплопровода.



Проверка сварочных материалов предполагает не только визуальный осмотр, но и сопоставление характеристик, указанных в сертификатах, с требованиями существующих ГОСТов и технических условий. Прежде чем приступать к горизонтальной сварке труб, проверяют техническое состояние всего используемого оборудования. Для этого смотрят документы и, если необходимо, пробный стык.

Также обязательным считается пооперационный контроль, который осуществляется в процессе сборки и горизонтальной сварки стыков. Проверяют центровку труб, совпадение кромок, размеры зазоров, скос кромок, притупление и зачистку кромок, расположение и качество прихваток. Проверке подлежит технология и режим горизонтальной сварки, порядок наложения слоев шва, их форма, зачистка шлака, отсутствие любых внешних дефектов, например, подрезов, пор, трещин. Обязательно устанавливают соответствие технологическим инструкциям.

Внешний осмотр швов должен показать, что выполняются следующие требования. Наплавленный металл должен иметь слегка выпуклую поверхность по всему

периметру с плавным переходом к материалу основного изделия без подрезов. Не допускается наличие незаваренных кратеров на шве. Усиление шва в процессе горизонтальной сварки труб должно иметь одинаковую высоту по всей его протяженности, ширина также не должна изменяться. В месте соединения не может быть каких-либо трещин, пор, наплывов, кратеров и грубой чешуйчатости. Если обнаруживаются стыки, не соответствующие перечисленным правилам, их бракуют и сразу исправляют.

Проверка сплошности швов после горизонтальной сварки труб производится при помощи неразрушающих методов. Таким образом оцениваются сварные соединения на целом ряде объектов. Так проверяют трубопроводы, на которые распространяются требования Правил Госгортехнадзора России, с наружным диаметром до 465 мм – в объеме, установленном данными Правилами, диаметром 465–900 мм – в объеме не менее 10 %, но не менее четырех стыков.

Если речь идет о диаметре более 900 мм – в объеме не менее 15 %, но не менее четырех стыков. Процент исчисляется от общего числа однотипных границ соединений, выполненных одним сварщиком. Проверка сплошности сварных швов посредством магнитографического контроля предполагает, что 10 % общего числа проверенных стыков должно быть повторно оценено при помощи радиографического метода.

Физические методы контроля применяются ко всем без исключения сварным стыкам, когда осуществляется прокладка теплопроводов под железнодорожными, трамвайными путями, автомобильными дорогами, городскими проездами, а также производится обустройство подводных, подземных переходов через указанные препятствия либо идут работы в коллекторах и технических коридорах.

Сварные стыки теплопроводов не проходят проверку неразрушающими методами, если удастся выявить трещины, кратеры, прожоги, непровары в корне шва, выполненного на подкладном кольце.

Если неразрушающие методы позволили обнаружить недопустимые дефекты в сварных швах трубопроводов, обязательно повторно производят контроль качества швов, установленных Правилами. Отметим, что Правила не распространяются на сварные швы с удвоенным числом стыков по сравнению с указанным выше.

Если во время повторной проверки обнаруживаются недопустимые дефекты, осматривают все стыки, выполненные допустившим ошибку сварщиком. Испытания на растяжение и изгиб механическим способом осуществляют не на самом трубопроводе, а на вырезанных из контрольных стыков образцах.

Контрольные стыки сваривают в условиях, аналогичных условиям горизонтальной сварки рабочих труб, при этом используются те же основные материалы и присадки, а сварщик находится в таком же положении, что и при работе над производственными стыками. В качестве контрольных образцов берут худшие с точки зрения внешнего вида. Для проведения механических испытаний отбирают 0,5 % контрольных стыков из общего числа швов, сваренных каждым сварщиком, при этом их не может быть менее одного в месяц.

### **61. Классификация дефектов сварных швов.**

Сварные соединения могут иметь различные эффекты, которые влияют на прочность и герметичность. Принято разделять все виды дефектов на три категории:

- внутренние (к ним можно отнести непровары, пористость и посторонние включения);
- наружные (среди них трещины, подрезы, кратеры, наплывы);
- сквозные (здесь можно выделить прожоги и трещины).



Поговорим подробнее о каждом виде дефектов.

### Трещины

Этот вид дефектов считается самым опасным, он может привести к быстрому разрушению сваренных конструкций. Различают трещины по их размерам (бывают макро- и микротрещины), по времени появления (в процессе сваривания деталей или после). Причина появления трещин – несоблюдение технологии сварки, неверный выбор материалов для сварки, слишком быстрое охлаждение конструкции.

Исправить трещину можно следующим образом: рассверлить ее начало и конец, удалить шов и заварить ее.

### Подрезы

Подрезами называют углубления между швом и металлом. Шов из-за этого дефекта становится слабым. Причина появления подрезов – повышенная величина тока. Образуется подрез обычно на горизонтальных швах. Устранить такой дефект можно наплавкой тонкого шва по линии подреза.



### Наплывы

Такой дефект может появиться в случае, когда расплавленный металл натекает на основной, при этом не образуя гомогенного соединения. Причины появления наплывов просты – основной металл не прогреет, сварщик использует излишнее количество присадочного материала. Устранить дефект можно срезанием, обязательно проверив наличие непровара.

### Прожоги

Прожоги – это дефекты, которые проявляются в сквозном проплавлении и вытекании жидкого металла. При этом с другой стороны, как правило, появляется натек.

Причина появления прожогов – высокий сварочный ток, медленное перемещение электрода, недостаточная толщина подкладки, слишком большой зазор между кромками свариваемого металла.

Исправить прожог можно: достаточно зачистить и заварить место дефекта.

### Непровар.

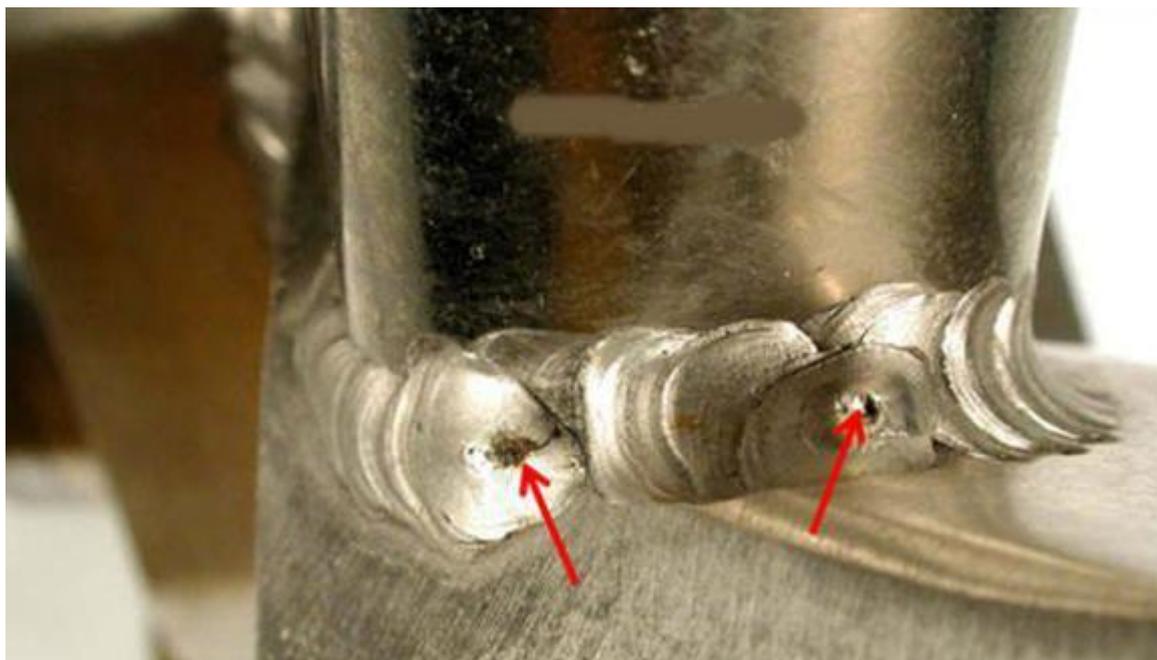
Непроваром называются локальные несплавления наплавленного металла с основным. Можно назвать непроваром и незаполнение сечения шва.

Этот тип дефекта снижает прочность шва, становится он причиной разрушения готовой конструкции. Причина кроется в заниженном сварочном токе, наличии на свариваемых деталях шлака или ржавчины.

Чтобы исправить ошибку, нужно вырезать непровар и заварить детали.

### Кратеры

Углубления, называемые кратерами, обычно появляются из-за обрыва сварочной дуги. Если такой дефект появился, необходимо вырезать его до основного металла и тщательно заварить.



### Свищи

Так принято называть полости, уменьшающие прочность шва. Именно из-за свищей могут образоваться трещины. Исправит ситуацию вырезка дефекта и заварка.

### Пористость

Что такое пористость? Это полости, которые заполнены газами. Причина их появления – интенсивное газообразование внутри металла. Размеры пор могут быть как микроскопическими, так и достигающими нескольких миллиметров.

Чтобы избежать появления пористости, следует очистить металл от загрязнений и посторонних веществ. Необходимо, чтобы электрод не был влажным.

Если ошибка уже допущена, следует вырезать пористую зону до основного металла и заварить, соблюдая технологии.

## Перегрев и пережог

Эти дефекты появляются в результате большого сварочного тока или недостаточной скорости сварки. Из-за этого готовое изделие становится очень хрупким. Пережженный металл можно лишь вырезать, а металлы заново заварить.

## 62. Причины дефектов и их возникновение.

### Трещины.

**Трещины** - дефект сварного соединения в виде разрыва в сварном шве и (или) прилегающих к нему зонах

**или**

- несплошность вызванная местным разрывом шва, который может возникнуть в результате охлаждения или действия нагрузок (ГОСТ 30242)

Трещины являются недопустимыми дефектами, так как являются концентратором напряжения и очагом разрушения. Это самые опасные дефекты сварного соединения, часто приводящие к его разрушению. Проявляются они в виде разрыва в сварном шве или в прилегающих к нему зонах. Сначала трещины образуются с очень малым раскрытием, но под действием напряжений их распространение может быть соизмеримо со скоростью звука, в результате чего происходит разрушение конструкции.

Чаще всего трещины проявляются при сварке высокоуглеродистых и легированных сталей в результате быстрого охлаждения сварочной ванны. Вероятность появления трещин увеличивается при жестком закреплении свариваемых деталей.

**Образованию трещин** способствует повышенное содержание углерода в расплавленном металле, а также кремния, никеля и особенно вредных примесей серы, фосфора и водорода.

Причинами образования трещин чаще всего является несоблюдение технологии и режимов сварки. Это может проявляться, например, в неправильном расположении швов в сварной конструкции, что приводит к высокой концентрации напряжений. Большие напряжения в сварных конструкциях могут возникнуть также при несоблюдении заданного порядка наложения сварных швов.

Кстати, более подробно об образовании трещин в сталях мы уже писали в [статье](#).

**Удаление трещин.** Поверхностные трещины в сварных конструкциях устраняются в следующем порядке: сначала засверливают концы трещины, чтобы она не распространялась дальше по шву, затем трещину удаляют механическим путем или строжкой, после чего место удаления дефекта зачищают и заваривают.

Внутренние трещины (как впрочем, и остальные внутренние дефекты) удаляют механическим способом или строжкой с последующей заваркой данного участка.

**По происхождению трещины подразделяются на:**

- холодные трещины
- горячие трещины

#### **Холодные трещины**

**Холодные трещины** возникают при температурах ниже 300°C, то есть сразу после остывания шва. Кроме того, холодные трещины могут возникнуть и через длительный промежуток времени. Причиной появления холодных трещин являются сварочные напряжения, возникающие во время фазовых превращений, приводящих к снижению прочностных свойств металла. Причиной появления холодных трещин может стать растворенный атомарный водород, не успевший выделиться во время сварки. Причиной попадания водорода могут служить непросушенные швы или сварочные материалы, нарушения защиты сварочной ванны. Холодные трещины на изломе имеют чистый блестящий вид кристаллов.

#### **Горячие трещины**

**Горячие трещины** появляются в процессе кристаллизации металла при температурах 1100 - 1300°C вследствие резкого снижения пластических свойств и развития растягивающих деформаций. Появляются горячие трещины на границах зерен кристаллической решетки. Появлению горячих трещин способствует повышенное содержание в металле шва углерода, кремния, водорода, никеля, серы и фосфора. Горячие трещины могут возникать как в массиве шва, так и в зоне термического влияния. Распространяться горячие трещины могут как вдоль, так и поперек шва. Они могут быть внутренними или выходить на поверхность. Горячие трещины на изломе имеют желтовато - оранжевый оттенок.

**По размерам трещины подразделяются на:**

- макроскопические
- микроскопические

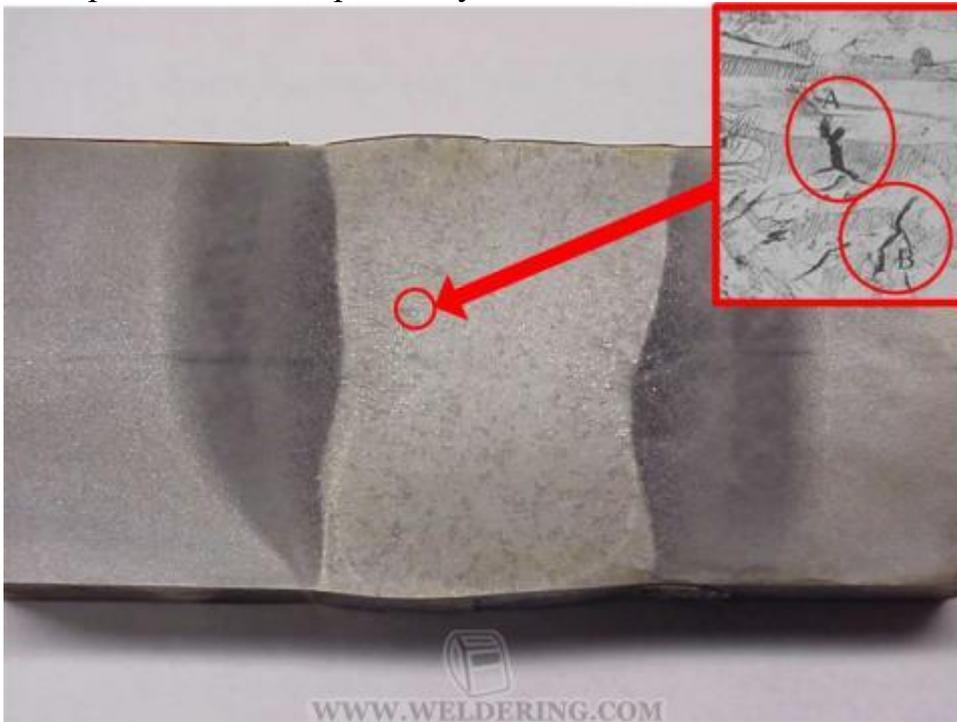
#### **Макроскопические трещины**

**Макроскопические трещины или просто трещины (100; E)** - видны невооруженным глазом или через лупу небольшого (2 - 4х - кратного) увеличения при визуальном контроле



### **Микроскопические трещины**

**Микроскопические трещины или микротрещина (1001)** - трещина микроскопических размеров, которую обнаруживают физическими методами не менее чем при пятидесятикратном увеличении



**По расположению трещины подразделяются на:**

- продольные
- поперечные

### **Продольная трещина**

**Продольная трещина** - трещина сварного соединения, ориентированная вдоль оси сварного шва

**Продольная трещина может располагаться :**

- в металле сварного шва

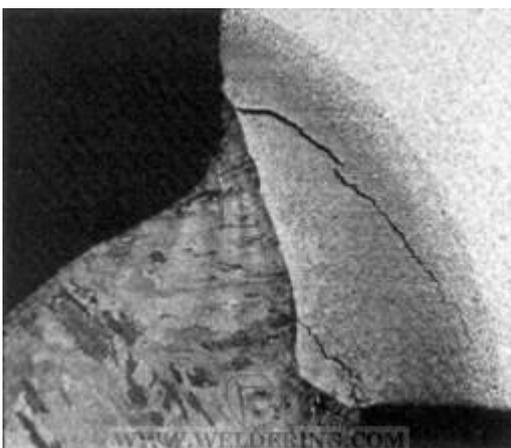




- на границе сплавления (1012)



- в зоне термического влияния (1013)





- в основном металле (1014)



**Поперечная трещина**

**Поперечная трещина** - трещина, ориентированная поперёк оси сварного шва.

**Поперечная трещина может располагаться:**

- в металле сварного шва



- в зоне термического влияния (1023)



- в основном металле (1024)



Также согласно ГОСТ 30242 трещины бывают:

- радиальные
- в кратере
- отдельные
- разветвленные

#### **Радиальные трещины**

**Радиальные трещины** - трещины радиально расходящиеся из одной точки. Трещины данного типа известны как звездоподобные трещины.

#### **Радиальные трещины могут располагаться:**

- в металле сварного шва
- в зоне термического влияния
- в основном металле

#### **Трещина в кратере**

**Трещина в кратере** - трещина в кратере сварного шва. Конечно определение звучит абсурдно, но по - другому и мы придумать не можем.



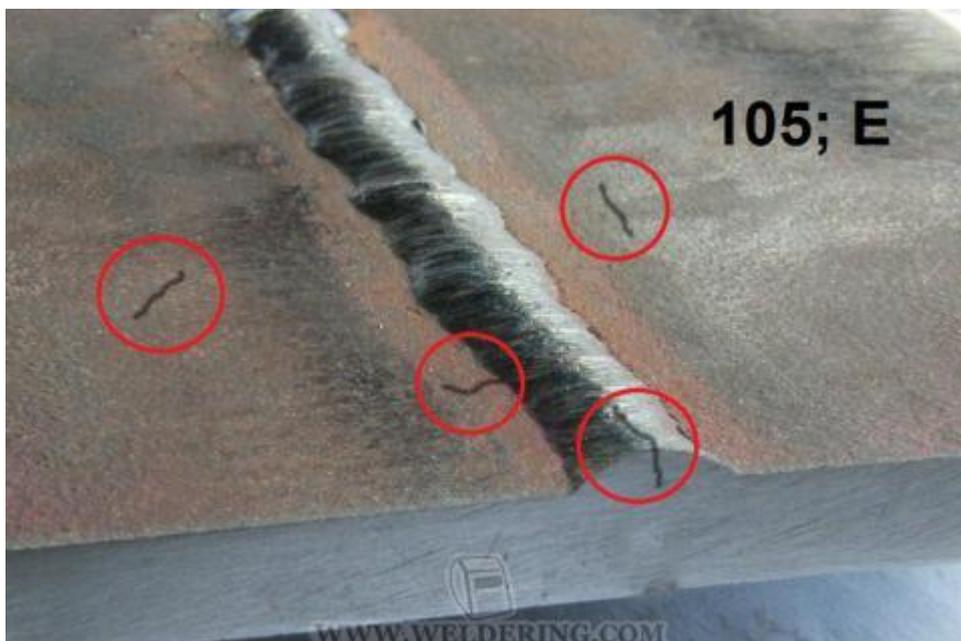
### **Трещина в кратере бывает:**

- продольной
- поперечной
- звездоподобной

### **Раздельные трещины**

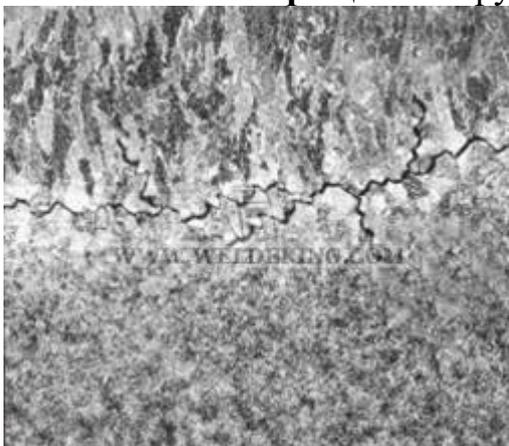
**Раздельные трещины** - группа трещин, которые могут находиться:

- в металле сварного шва
- в зоне термического влияния
- в основном металле



### **Разветвленные трещины**

**Разветвленные трещины** - группа трещин, возникших из одной трещины.



### **Разветвленные трещины могут располагаться:**

- в металле сварного шва
- в зоне термического влияния
- в основном металле

### **Дефекты сварных соединений.**

#### **Образование пор в сварных швах и способы их предупреждения**

**Поры, наблюдаемые в сварных швах**, связаны с процессами выделения газов в макро- и микрообъемах.

При объемном пересыщении металла сварочной ванны газами, вызванном уменьшением растворимости из-за снижения температуры металла, в основном образуются макропоры. Рост пузырьков газа в этом случае происходит в основном в

результате конвективной диффузии газа из окружающих объемов металла. Скорость роста пузырьков определяется степенью пересыщения ванны газами и скоростью десорбции газов в зародыш.

При локальном пересыщении жидкого металла у фронта кристаллизации зарождение и развитие пузырьков наиболее вероятно на стадии остановки роста кристаллов. Пузырьки в этом случае в основном развиваются вследствие диффузии атомов (ионов) газа из прилегающих микрообъемов металла. Размеры пузырьков определяются в основном длительностью остановок в росте кристаллов. При кристаллизации первых слоев и длительности остановок 0,1...0,2 с, характерных для наиболее употребляемых режимов сварки, вероятно образование мельчайших пор у линии сплавления. Роль азота в образовании крупных пор при отсутствии конвективной массопередачи газа невелика.

Получение плотных швов при сварке покрытыми электродами и порошковыми проволоками может быть достигнуто путем снижения содержания газов в сварочной ванне ниже предела растворимости в твердом металле при температуре плавления. В этом случае образование пузырьков газа в момент кристаллизации не происходит. Этот способ обеспечения плотных швов реализуется в электродах с покрытием основного вида.

При увлажнении электродного покрытия основного вида содержание водорода в сварочной ванне возрастает выше его предела растворимости в твердом железе при температуре плавления и попадает в наиболее опасную с точки зрения образования пор концентрационную зону скачка растворимости (12... 27 см<sup>3</sup>/100 г). При таких концентрациях водорода процесс образования и удаления пузырьков газа из сварочной ванны протекает вяло, что приводит к образованию пор.

**Поры**, обнаруживаемые в швах при сварке длинной дугой электродами с карбонатно-флюоритным покрытием, вызваны выделением азота. Плохое смачивание капель электродного металла и ванны шлаками электродов этого вида создает условия для непосредственного контакта металла с газовой фазой и повышенной абсорбции азота.

Газом, вызывающим пористость швов при сварке электродами с рутиловым и руднокислым покрытиями, в основном является водород. Выделение оксида углерода и азота играет второстепенную роль.

Получение плотных швов при сварке этими электродами достигается путем создания благоприятных условий для повышенной абсорбции водорода на стадии капли и интенсивного роста и быстрого удаления образовавшихся пузырьков газа из сварочной ванны до момента ее кристаллизации. Такая ситуация реализуется при обеспечении содержания водорода в сварочной ванне, значительно превышающем предел его растворимости в жидком железе при температуре плавления, т. е. намного больше 27 см<sup>3</sup>/100 г.

Введение в рутиловые и руднокислые покрытия материалов, содержащих кристаллизационную влагу, способствует интенсивной абсорбции водорода каплями

электродного металла и высокотемпературной областью сварочной ванны, что создает впоследствии благоприятные условия для зарождения, роста и удаления пузырьков газа до момента кристаллизации сварочной ванны.

Увеличение силы тока при сварке электродами с рутиловым и руднокислым покрытиями повышает вероятность образования пор в металле шва, что обусловлено перегревом второй половины электрода, уменьшением содержания влаги в перегретом покрытии и содержания водорода в металле шва, выполненном перегретой частью электрода до опасного концентрационного уровня ( $12...27 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ ).

При введении значительных количеств алюминия, титана, кремния в покрытия рутиловых и руднокислых электродов возрастает вероятность образования пор, обусловленная ростом концентрации кремния в металле сварочной ванны.

Будучи поверхностно-активным элементом, кремний тормозит десорбцию водорода, дегазация ванны идет вяло, в металле образуются поры. Подобное влияние может оказывать сера и другие поверхностно-активные элементы.

**Раскисление покрытий рутиловых или руднокислых электродов** кремнием, титаном, алюминием, углеродом, высокое содержание этих элементов в основном металле, повышение температуры проковки, снижение окислительного потенциала покрытия и др. приводят к снижению скорости выделения газов и к образованию пористости.

Подавление кремневосстановительного процесса путем повышения основности шлака, введения карбонатов в покрытие и окисления кремния водяным паром способствует увеличению скорости выделения водорода. Предложенный метод интенсификации выделения водорода использован при создании промышленных марок рutil-карбонатных электродов серии АНО.

Менее надежная защита металла от воздуха при сварке порошковыми проволоками открытой дугой приводит к большей (по сравнению с электродами) абсорбции азота металлом, поэтому выделение азота из ванны оказывает существенное, а в ряде случаев решающее, влияние на пористость. В проволоках карбонатно-флюоритного типа предупреждение выделения азота в виде газовой фазы достигается легированием металла титаном и алюминием. Эффективно снизить абсорбцию азота можно, защитив зону сварки углекислым газом, смесями газов на основе аргона либо используя проволоку двухслойной конструкции.

## 64. Прожог

**Прожог** - вытекание металла сварочной ванны, в результате чего образуется сквозное отверстие в сварном шве

Недопустим, так как нарушает сплошность сварного шва.

### Внешние признаки

---

- сквозные отверстия или полости, образованные вследствие расплава сварочной ванны.

### Процесс возникновения

---

В сварочной ванне образуется чрезмерный объем жидкого металла. Он не удерживается силами поверхностного натяжения и самопроизвольно вытекает из шва.

### Причины возникновения

---

- химическая неоднородность свариваемого металла;
- завышенная сила тока при недостаточной скорости сварки;
- некачественная сборка стыка под сварку (под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка), чрезмерные зазоры;
- низкая квалификация сварщика.

### Способы предупреждения

---

#### Перед сваркой:

- использовать специальные подкладки (остающиеся и не остающиеся);
- оптимизировать режим сварки по скорости и мощности источника нагрева;
- применять кантователи, вращатели для выбора пространственного положения, исключающего прожог.

#### Во время сварки:

- применять импульсно-дуговые режимы сварки;
- вести дуговую сварку углом вперед, а газовую левым способом;
- строго соблюдать постоянство зазора в стыке.

#### КАК ОБНАРУЖИТЬ ДЕФЕКТ

Прожог не всегда заметен невооруженным взглядом. Для обнаружения мелких дефектов используют капиллярный контроль шва. Пенетранты — первая часть выявления прожога.

Капиллярный метод контроля качества сварки эффективен для прожогов до 0,5 мм. Алгоритм действий следующий:

1. Очистите поверхность изделия перед нанесением пенетранта.
2. Нанесите тонкий слой для выявления дефектов. Он моментально проникнет в трещины.
3. Подождите несколько минут.
4. Вновь воспользуйтесь очистителем. Уберите с поверхности излишки компонента.
5. Нанесите проявитель. Проникая в дефектные зоны и подсвечивая их, проявитель визуализирует изъяны сварки.

Есть и другие методы выявления дефектов. Ультразвуковая диагностика и намагничивание выявят все проблемные места и помогут выстроить дальнейший алгоритм действий.



## КАК ПРЕДОТВРАТИТЬ ПРОЖОГ

Любой дефект негативно влияет на технические свойства металла, поэтому исключите возможные причины его появления:

1. Используйте исправное оборудование.
2. Убедитесь в квалификации специалиста, если работа поручена ему.
3. Не нарушайте технологический процесс. Сверяйтесь с технической документацией, правильно подбирайте оборудование для сварки и сопутствующие материалы.

Самые частые причины нарушения технологического процесса – неправильный выбор длины дуги и несоблюдение параметра тока оборудования, с помощью которого ведутся работы.

## **Прожог**

**Прожог** - вытекание металла сварочной ванны, в результате чего образуется сквозное отверстие в сварном шве

Недопустим, так как нарушает сплошность сварного шва.

### **Внешние признаки**

---

- сквозные отверстия или полости, образованные вследствие расплава сварочной ванны.

### **Процесс возникновения**

---

В сварочной ванне образуется чрезмерный объем жидкого металла. Он не удерживается силами поверхностного натяжения и самопроизвольно вытекает из шва.

### **Причины возникновения**

---

- химическая неоднородность свариваемого металла;
- завышенная сила тока при недостаточной скорости сварки;
- некачественная сборка стыка под сварку (под свариваемый шов плохо поджата флюсовая подушка или медная подкладка), чрезмерные зазоры;
- низкая квалификация сварщика.

### **Способы предупреждения**

---

#### **Перед сваркой:**

- использовать специальные подкладки (остающиеся и не остающиеся);
- оптимизировать режим сварки по скорости и мощности источника нагрева;
- применять кантователи, вращатели для выбора пространственного положения, исключающего прожог.

#### **Во время сварки:**

- применять импульсно-дуговые режимы сварки;
- вести дуговую сварку углом вперед, а газовую левым способом;
- строго соблюдать постоянство зазора в стыке.

**КАК ОБНАРУЖИТЬ ДЕФЕКТ**

Прожог не всегда заметен невооруженным взглядом. Для обнаружения мелких дефектов используют капиллярный контроль шва. Пенетранты — первая часть выявления прожога.

Капиллярный метод контроля качества сварки эффективен для прожогов до 0,5 мм. Алгоритм действий следующий:

6. Очистите поверхность изделия перед нанесением пенетранта.
7. Нанесите тонкий слой для выявления дефектов. Он моментально проникнет в трещины.
8. Подождите несколько минут.
9. Вновь воспользуйтесь очистителем. Уберите с поверхности излишки компонента.
10. Нанесите проявитель. Проникая в дефектные зоны и подсвечивая их, проявитель визуализирует изъяны сварки.

Есть и другие методы выявления дефектов. Ультразвуковая диагностика и намагничивание выявят все проблемные места и помогут выстроить дальнейший алгоритм действий.



#### КАК ПРЕДОТВРАТИТЬ ПРОЖОГ

Любой дефект негативно влияет на технические свойства металла, поэтому исключите возможные причины его появления:

4. Используйте исправное оборудование.
5. Убедитесь в квалификации специалиста, если работа поручена ему.

6. Не нарушайте технологический процесс. Сверяйтесь с технической документацией, правильно подбирайте оборудование для сварки и сопутствующие материалы.

Самые частые причины нарушения технологического процесса – неправильный выбор длины дуги и несоблюдение параметра тока оборудования, с помощью которого ведутся работы.

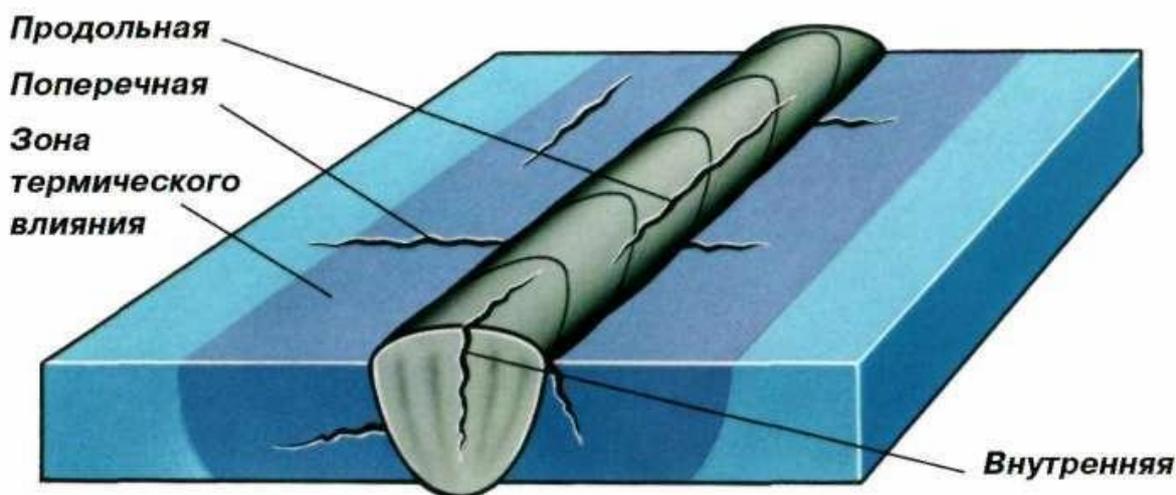
### Холодные трещины при сварке

Образование холодных трещин при сварке может происходить на шве и прилегающем металле заготовок. Такое название было дано, потому что дефекты появляются после остывания деталей ниже температуры  $250 — 200^{\circ}\text{C}$ . Визуально холодные трещины выглядят как блестящие изломы без проявлений высокотемпературного окисления.

### Виды холодных трещин при сварке

По месту образования холодные дефекты подразделяются на наружные и внутренние подвиды. По направленности относительно стыка видам холодных трещин даны следующие названия:

- откол — продольные на участках рядом с соединением;
- отрыв — направленные вдоль шва;
- частокол — образующиеся поперек шва или в зоне термического воздействия перпендикулярно к соединению.



*Разновидности холодных трещин при сварке*

На сложных стыках холодные трещины могут образоваться:

- между швами при двухсторонней сварке;
- на границе между швом и металлом детали;

- на нижней стороне соединения под валиком.

### **Причины образования**

Самая высокая вероятность появления холодных трещин после сварки у высокоуглеродистых и легированных марок стали, сплавов титана и алюминия. Холодный дефект образуется, если:

1. Структура шва и заготовок чувствительна к действию водорода. Таким свойством обладают закаливающиеся марки стали даже когда холодные.
2. В сварной зоне содержится достаточное количество водорода, который проникает из шва.
3. Внутри соединения действует растягивающее напряжение. Ученые установили, что основной причиной образования холодных трещин при сварке является негативное влияние водорода на структуру стали. Его источником может быть электродное покрытие, флюс, влага из воздуха. Водород в расплавленный металл может попасть из загрязнений на заготовках и присадочном материале или как составная часть защитного газа. Если кромки заготовок не очистить перед сваркой от ржавчины, она при нагреве начнет активно насыщать шов газом.

### **Когда образуются холодные трещины**

Во время процесса охлаждения в соединении возникают растягивающие напряжения, которые сопровождаются пластической деформацией. В результате создаются условия для появления холодных трещин. У сталей с низкой пластичностью в холодном состоянии вероятность образования дефектов повышается.

После попадания водорода внутрь хрупкость стали возрастает, что в совокупности с остаточными напряжениями приводит к образованию холодных трещин. За счет малых размеров его атомы свободно перемещаются по объему железа, как по холодному, так и нагретому. Поскольку при сварке атомарный водород скапливается внутри металла сварного шва, он стремится распространиться в места с меньшей концентрацией. Диффузия происходит в зону, прилегающую к стыку, металл деталей. Часть растворенного газа через наружные поверхности выходит в атмосферу.

Влияние водорода считается временным, если действие проявляется при испытании свойств соединения непосредственно после сварки или через короткий промежуток времени. Проведение процедуры может осложниться, особенно при проверке сварного соединения на пластичность. Во время испытания образцов начинается образование поверхностных холодных дефектов даже при незначительном изгибе. Это происходит из-за диффузии атомов водорода при проведении проверки внутрь формирующихся пор и шлаковых включений. Из скопившихся атомов при температуре меньше 200<sup>0</sup>С образуются молекулы, которые теряют подвижность. Процесс фазового перехода сопровождается появлением давления, которое создает блестящие поры.



Постоянным влиянием называют длительное воздействие водорода, способствующее образованию холодных трещин. При переходе в молекулярное состояние давление газа постепенно нарастает за счет поступления новых атомов. Период до разрушения у стали может составлять несколько суток, у титана до десятков дней.

Давлению подвергаются не только пустоты внутри металла, но также места, где произошли структурные изменения при перегреве. Они возникают при образовании мартенсита у закаливаемых сталей при быстром охлаждении. Степень охрупчивания зависит от состава металла и технологии сварки. Повреждение зон границ структурных зерен происходит также в результате других процессов без участия водорода. Например, когда растворенные сульфиды и карбиды выпадают из твердой фазы.

### **Как избежать появления холодных трещин**

Для уменьшения вероятности закаливания стали снижают скорость остывания соединения или перед сваркой предварительно нагревают детали. Этим достигается снижение величины растягивающих напряжений. На предприятиях вместо предварительного подогрева применяют механизмы для сжимания заготовок между собой при большой температуре. Сдавливанием устраняется причина образования дополнительных растягивающих напряжений даже при быстром охлаждении.

Для снижения концентрации водорода внутри сварного соединения пользуются следующими технологическими приемами:

1. Чтобы предотвратить попадание газа в расплавленный металл из покрытия, электроды несколько часов прокаливают в печи с температурой 300 — 350<sup>0</sup>С. Флюс перед сваркой обрабатывают аналогично.
2. Сварочной проволокой, протравленной соляной кислотой, лучше не пользоваться, так как это обильный источник водорода.
3. Для выведения газа из металла соединение после окончания сварки нагревают до 100 — 200<sup>0</sup>С. В зависимости от химического состава и толщины металла время выдержки составляет от 0,5 до нескольких часов. Для стали повышенной прочности продолжительность обработки 0,5 — 1 час при температуре 100 — 150<sup>0</sup>С. Детали толщиной больше 4 см выдерживают в нагретом состоянии 4 — 5 часов. Сварку заготовок толщиной более 20 см проводят с несколькими остановками для промежуточного прогревания шва.
4. Ручная дуговая сварка электродами с низким содержанием водорода обеспечивает снижение концентрации газа в сварном соединении до величины меньше 15 мл на 100 г металла.

Под действием нагрузки холодные трещины увеличиваются в размерах. Поэтому после обнаружения их сразу заваривают. При подготовке сначала просверливают отверстия на концах или прижигают, место дефекта подогревают. Холодные трещины длиной больше 30 см заваривают обратноступенчатым способом.

#### **64. Подрез сварного шва**

это дефект который характеризуется образованием продолговатого углубления (канавки) остроугольной формы в зоне сплавления сварного шва и основного металла или металла сварного шва предыдущего слоя.

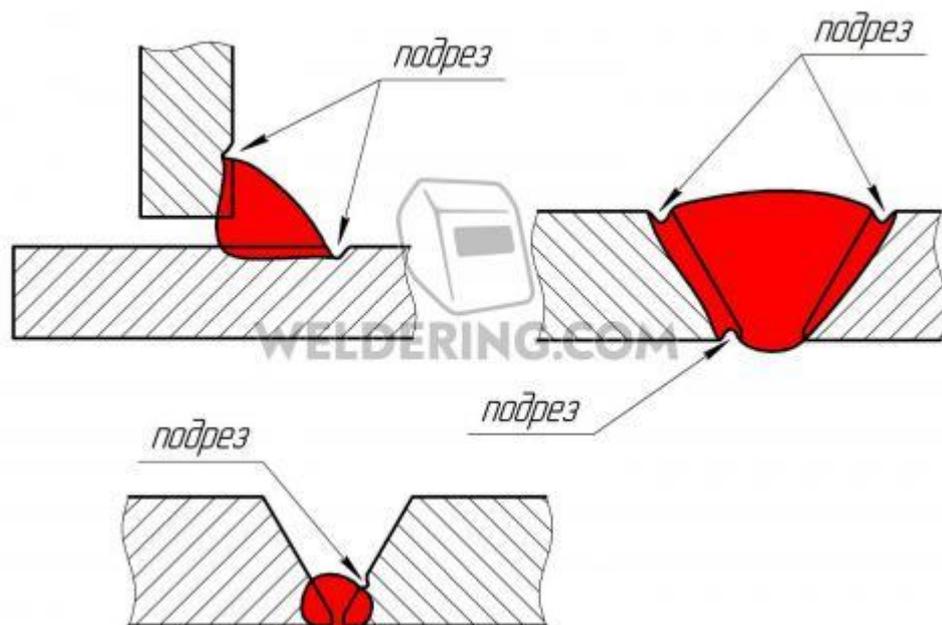
Похожие определения для данного вида дефекта сварного шва указаны и в нормативных документах на сварку ГОСТ 2601 и ГОСТ 30242:

##### **Подрез**

это дефект в виде углубления по линии сплавления сварного шва с основным металлом.

##### **Подрез**

это углубление продольное на наружной поверхности валика сварного шва, образовавшееся при сварке.



## Причины образования подрезов при сварке

Причиной образования подреза при сварке является выполнение сварки либо на повышенных режимах или с большой скоростью. Также, результатом возникновения может служить выбор неправильного угла наклона к более тонкому краю детали, что в свою очередь вызывает ее перегрев.

Исследования показывают, что с уменьшением температуры твердой поверхности смачивание ее жидким металлом ухудшается и улучшается с повышением температуры. Следовательно, одним из основных факторов, влияющих на смачивание является температура. На горизонтальных плоскостях смачивание играет ключевую роль т.к. вследствие действия сил поверхностного натяжения, жидкий металл на холодной поверхности стремиться к сжиманию, сокращая свою площадь и поверхность, которую он занимает, что и приводит к образованию подреза в сварном шве. В вертикальной плоскости, т.е. при сварке угловых и горизонтальных швов, дополнительной причиной является стекания жидкого металла под действием силы тяжести.

Неправильное использование газовой защиты, неправильная техника сварки и положение при сварке являются дополнительными причинами образования подреза сварного шва.

Подрезы при сварке всегда были серьезной проблемой в сварочном производстве, поэтому в последние годы все больше производителей сварочного оборудования и материалов и предпринимают попытки решить данную проблему.

Наличие подрезов обуславливает существенную концентрацию напряжений вблизи данного дефекта и может вызвать локальное или общее разрушение конструкции. Продольные углубления снижают сечение основного металла в зоне термического влияния. В результате чего сварные швы плохо воспринимают динамическую нагрузку и в данных местах могут возникнуть трещины. При проведении испытаний

сварных швов на растяжение и угол загиба разрушение металла начинается от подреза, при значительных заниженных механических показателях.

## **Восемь советов для уменьшения вероятности образования подрезов в сварном шве**

---

### **Правильное тепловложение**

Одной из самых главных причин образования подрезов в сварных швах является большая величина нагрева при выполнении сварки вблизи свободных краев детали в результате чего происходит более глубокое проплавление одной из кромок, что приводит к образованию канавки, которая остается после затвердевания металла сварочной ванны. Это может привести к перегреву и расплавлению близлежащего основного металла или ранее наложенного металла шва. Для предотвращения необходимо следить за тепловложением при этом уменьшая сварочный ток при приближении к более тонким участкам детали или к свободному краю изделия.

### **Правильный угол электрода**

Как известно угол электрода играет очень важную роль для предотвращения образования дефектов при сварке. Если выполнить сварку с неправильным углом, который будет направлять больше тепла к свободным кромкам изделия, вероятность образования подреза увеличивается в несколько раз. В связи с чем необходимо использовать правильный угол, чтобы направлять больше тепла на более толстую часть детали.

### **Правильная скорость сварки**

Сварка с большой скоростью является еще одной причиной образования подрезов на сварных швах. При большой скорости некоторая часть основного металла переходит в расплавленный металл сварного шва и в результате быстрой кристаллизации остаются углубления (канавки) по краям. Поэтому рекомендуется производить сварку в умеренном темпе потому что слишком маленькая скорость сварки не дает удовлетворительных результатов. Таким образом, конкретным условиям сварки соответствует определенный диапазон скорости, в пределах которого возможно получение швов без подрезов.

### **Правильный выбор газовой защиты**

При сварке полуавтоматом неправильный выбор защитных газов также является одной из основных причин подрезов при сварке. Сварщик должен быть уверен, что использует правильную сварочную смесь, которая подходит именно для сварки этого металла. Применение смесей углекислоты с инертными газами обеспечивает качественные результаты при сварке углеродистых сталей.

### **Правильная техника сварки**

Причиной образования подрезов при сварке также является попытка сварщика выполнять сварку с чрезмерными поперечными колебаниями электрода.

Рекомендуется выполнять сварку с минимальными поперечными колебаниями – так

называемым «ниточным швом». Размер колебаний не должен превышать допустимых значений, потому что это значительно увеличивает вероятность образования подреза в сварном шве. Для предотвращения образования данного дефекта сварного шва необходимо либо уменьшить ширину поперечных колебаний электрода, либо выполнять многослойный шов вместо однослойного.

При ручной дуговой сварке покрытыми электродами рекомендуемый размах поперечных колебаний должен составлять не более 2-3 диаметров электрода.

### **Правильное пространственное положение при сварке**

Сварка в горизонтальном или вертикальном положении в свою очередь увеличивает вероятность образования подреза шва. В данном случае, канавка образуется из-за недостаточного заполнения вдоль зоны сплавления шва. Если есть возможность, сварку необходимо выполнять в нижнем положении.

### **Использовать многослойную сварку**

Это самый лучший вариант для предотвращения образования подрезов при сварке. Техника наложения многослойного шва подразумевает выполнение всех вышесказанных рекомендаций и помогает добиться качественных сварных соединений с гарантированными механическими свойствами.

### **Использование предварительного подогрева**

Предварительный подогрев снижает скорость кристаллизации металла и улучшает смачиваемость за счет меньшей разности температур между сильно нагретым металлом сварочной ванны и слабо нагретым основным металлом.

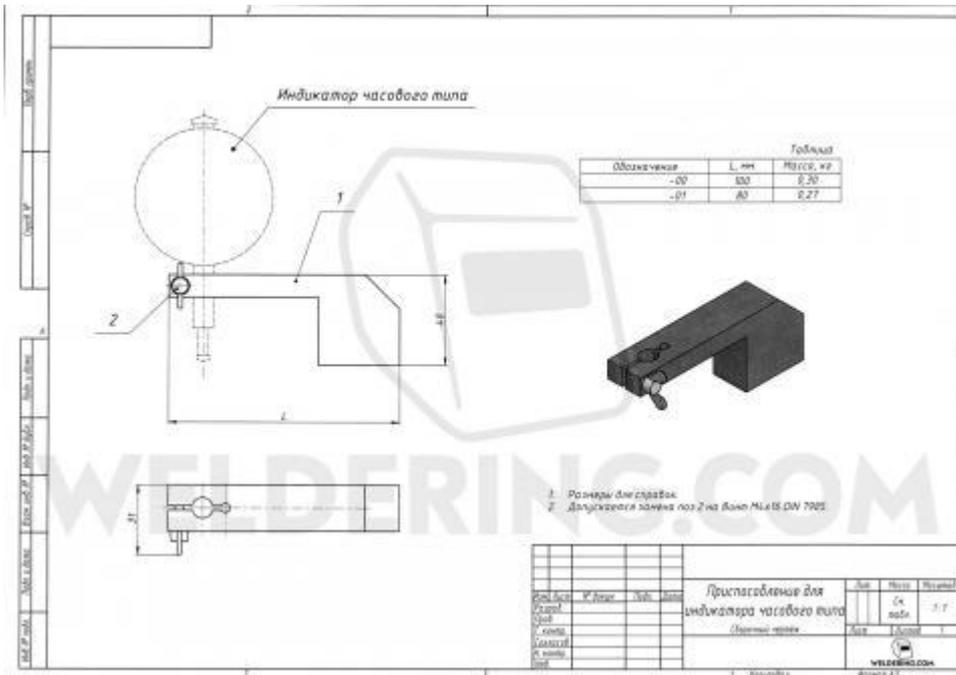
### **Измерение глубины подреза сварного шва**

В большинстве случаев измерение подрезов сварных швов производится с помощью:

- специального прибора (глубиномера);
- универсального шаблона сварщика УШС-3, УШС-4.

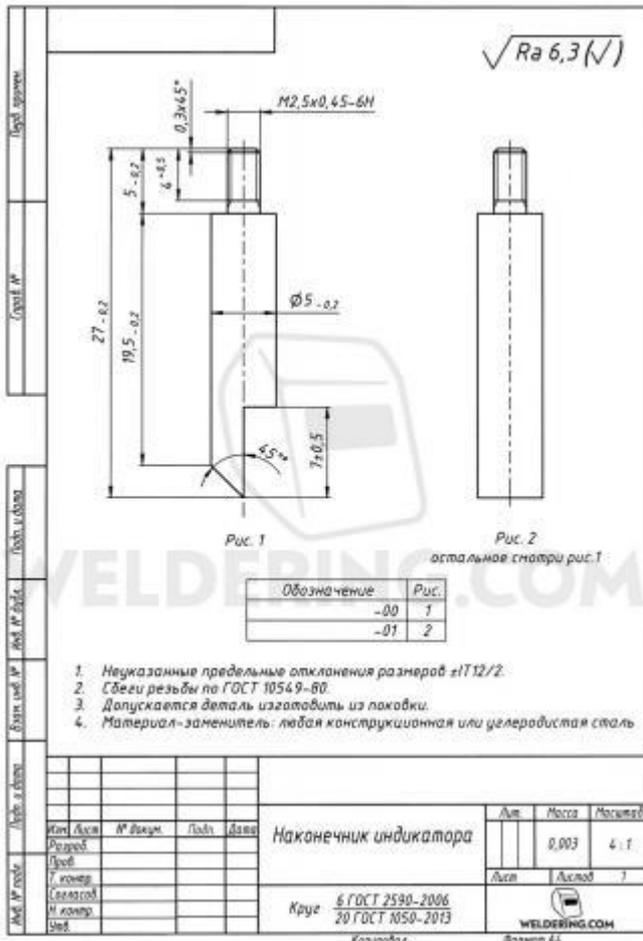
### **Прибор для измерения глубины подреза сварного шва**

Прибор для измерения глубины подреза сварного шва представляет собой опорное основание 1 в котором закрепляется индикатор часового типа со специальным наконечником индикатора. Путем установки основания на ровную поверхность необходимо выставить 0 на индикаторе, после чего прибор передвинуть к месту измерения и установить наконечник индикатора в канавку. Размер устанавливается значением на шкале индикатора.



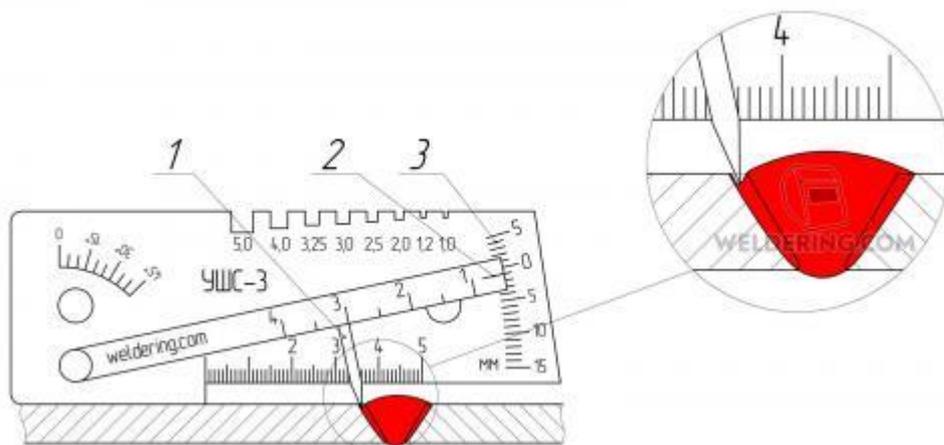
Кстати, конструкция прибора предусматривает два типа наконечников:

- с углом 45° - для измерения глубины подреза, углублений между валиками и чешуйчатости, вогнутости корня шва;
- плоский – для измерения высоты усиления сварного шва, выпуклости корня шва, смещение кромок свариваемых деталей.

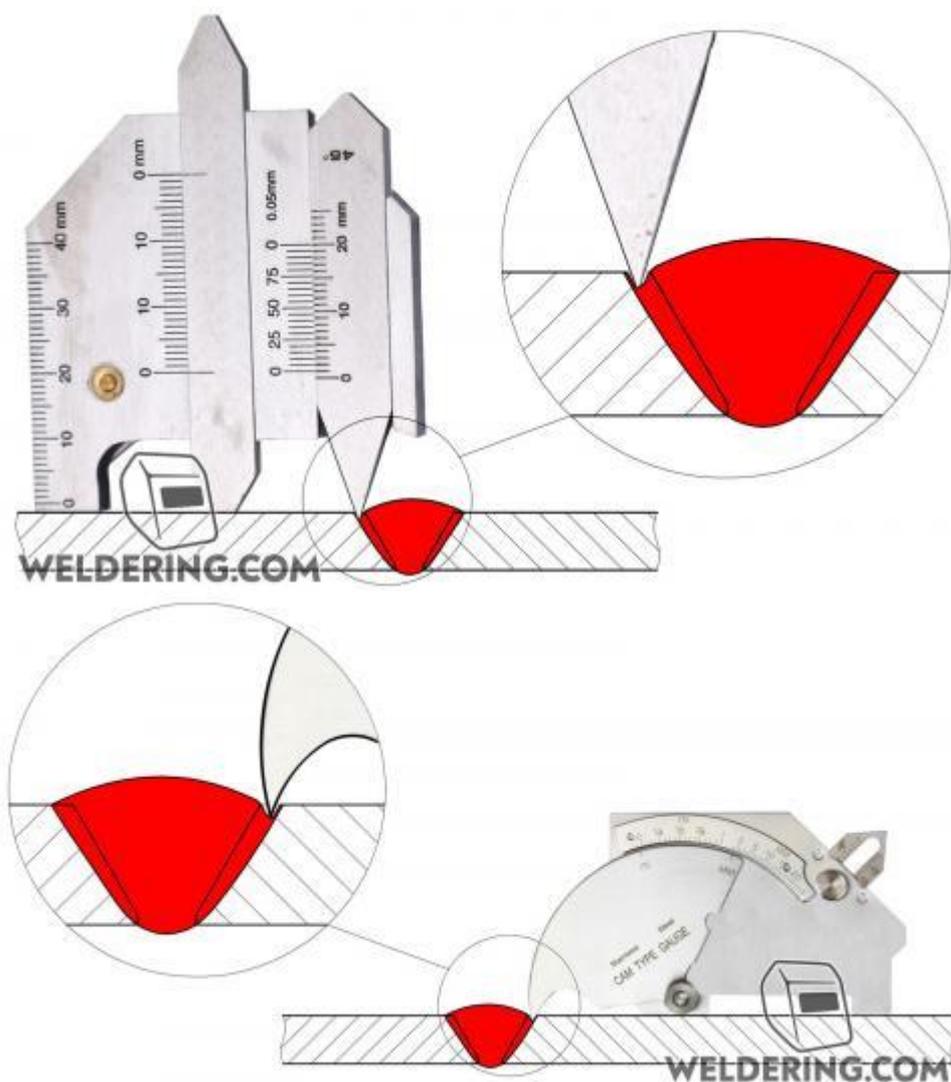


## Измерение глубины подреза сварного шва универсальным шаблоном сварщика (УШС-3; УШС-4)

Измерение подреза при помощи универсального шаблона сварщика производится путем установки указателя 1 в канавку. Размер определяется напротив риски 2 по шкале 3.



Принципиального отличия в методах проведения контроля нет, поэтому чем измерить подрез сварного шва зависит только от наличия того или иного мерительного инструмента.



## Допуски на подрезы в сварных швах

Конечно же лучше изготавливать конструкции без дефектов, но чаще всего это является необоснованно дорого или невозможно, поэтому всегда имеются допуски с указанием какие дефекты, их количество и размеры являются допустимыми в той или иной конструкции и не влияют на её эксплуатационные свойства. В первую очередь от назначения конструкции и требований нормативных документов зависит какого размера подрезы допускаются в сварных швах:

- в изделиях для атомных станций согласно ПНАЭГ 7-010-89 подрезы не допускаются.
- для трубопроводов пара и горячей воды тепловых станций и труб в пределах котла согласно РД 2730.940.103 подрезы глубиной 0,2 мм и менее допускается не учитывать.
- для трубопроводов по СНиП 3.05.05 и газопроводов по СНиП 3.05.02 допускаются подрезы глубиной не более 0,5 мм
- согласно СНиП III-18-75 при изготовлении, монтаже стальных конструкций зданий и производственных сооружений допустимая глубина подрезов в швах составляет не более 0,5 мм при толщине стали от 4 до 10 мм и не более 1 мм при толщине стали свыше 10 мм

Чтобы узнать допуски на подрезы в сварных швах, прежде всего необходимо найти данную информацию в нормативных документах с требованиями к сварным швам.

## Исправление подрезов сварных швов

В зависимости от требований нормативных документов в некоторых случаях допускается небольшие подрезы исправлять методом зачистки без последующей сварки. Если требуется проведение ремонта с последующей сваркой - процесс исправления состоит из следующих этапов:

- Зачистка механическим способом до полного удаления дефекта
- Визуальный контроль места зачистки. Если деталь является ответственной – необходимо проведение капиллярного контроля данного места, чтобы удостовериться в полноте удаления дефекта.
- Повторная сварка данного участка сварного соединения.

## **65. Наплыв**

**Наплыв (506)** - избыток наплавленного металла сварного шва, натекший на поверхность основного металла, но не сплавленный с ним

Допустим на неответственных конструкциях

Недопустим на ответственных конструкциях, поднадзорных органам технического надзора



### **Внешние признаки**

---

- избыток металла шва по его краю.

Дефект виден невооруженным глазом при визуальном контроле.

### **Процесс возникновения**

---

При формировании шва избыток металла сварочной ванны натекает на холодные кромки основного металла, не образуя с ним соединения.

### **Причины возникновения**

---

- ошибки в технике сварки;
- нарушение параметров режима сварки;
- неправильный выбор сварочных материалов;
- неудобство формирования шва, вызванное наличием мешающих конструкций.
- большой сварочный ток;
- излишняя длина дуги.

### **Способы предупреждения**

---

#### **Перед сваркой:**

- выбрать оптимальный режим сварки;
- строго соблюдать требования технологического процесса;
- использовать соответствующие сварочные материалы.

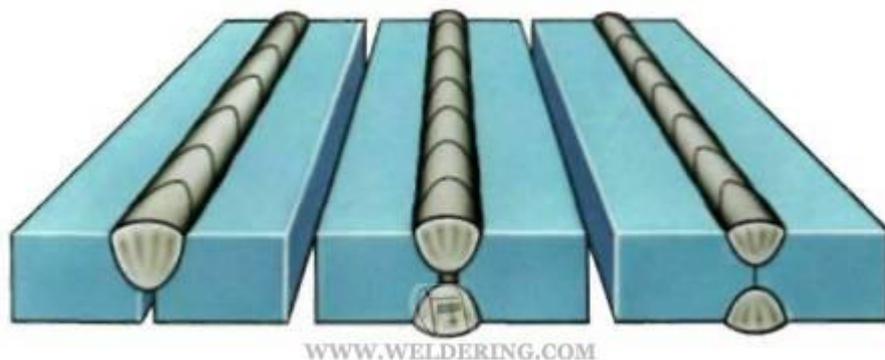
#### **Во время сварки:**

- корректировать режим сварки в зависимости от схемы формирования шва;
- вести сварку строго по середине разделки кромок;
- вести сварку дугой средней длины.

### **Непровар и полный непровар**

**Непровар и полный непровар (402; D)** - несплошность по всей длине шва или на его отдельном участке, возникающая из-за неспособности расплавленного металла проникнуть внутрь соединения. Бывает в корне или в сечении шва

Недопустимо, так как является концентратором напряжения, вызывающим развитие трещин



### **Внешние признаки**

- отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва.

Обнаруживают методом неразрушающего контроля.

### **Процесс возникновения**

Сварочная дуга не может расплавить нижнюю кромку разделки и сформировать шов с ее участием. Расплавленный металл не проникает к корню соединения.

### **Причины возникновения**

- плохая зачистка свариваемых кромок;
- недостаточная сила тока;
- завышенная скорость сварки;
- низкая квалификация сварщика;
- неудобное пространственное положение шва.

### **Способы предупреждения**

#### **Перед сваркой:**

- правильно выбрать вид разделки кромок;
- собрать кромки с соблюдением их геометрических размеров;
- использовать кантователи для удобного расположения шва.

#### **Во время сварки:**

- строго соблюдать режимы сварки, в частности, по сварочному току;
- вести сварку на короткой дуге;
- вести сварку в нижнем положении и в положении в лодочку.

### **Свищ**

**Свищ (2016; Ab)** - трубчатая полость в металле сварного шва из-за выделений газа. Форма и положение свища зависят от режима затвердевания и вида газа. Обычно свищи скапливаются и распределяются елочкой

Недопустимо, так как свищ является концентратором напряжения



### **Внешние признаки**

---

- отсутствуют, так как дефект находится внутри сварного шва.

Обнаруживают методом неразрушающего контроля.

### **Процесс возникновения**

---

При сварке угловых швов в различных пространственных положениях, отличных от нижнего, подъемная сила не может выдавить пору наружу.

### **Причины возникновения**

---

- неблагоприятная геометрия сварочной ванны при сварке угловых, тавровых и нахлесточных соединений;
- высокая вязкость металла сварочной ванны при сварке в потолочном вертикальном и горизонтальном положениях;
- низкая пластичность металла шва;
- образование закалочных структур;
- внутренние напряжения от неравномерного нагрева.

### **Способы предупреждения**

---

#### **Перед сваркой:**

- использовать покрытые электроды обеспечивающие пониженную вязкость металла сварочной ванны;
- прокалывать электроды согласно паспортным режимам;
- тщательно защищать кромки от ржавчины и грязи.

#### **Во время сварки:**

- сваривать швы в нижнем положении или в положении в лодочку;
- при многослойной сварке формировать более широкие швы;
- применять технику сварки с перемешиванием жидкого металла сварочной ванны.

### **Способ устранения**

---

Дефектный участок вырубают или вычищают и вновь заваривают.

основного материала и следующего с присадочным. В ходе сварки простых небольших узлов (шин, наконечников) можете выполнять подогрев самой угольной дугой.

Крупногабаритные изделия необходимо предварительно подогреть в электрических печах с защитной атмосферой до температуры +500 °С. В роли защитного газа может выступать азот.