

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

**К.И. Томас, Д.П. Ильященко**

## **ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Рекомендовано УМО РАЕ по классическому университетскому  
и техническому образованию в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений, обучающихся  
по специальностям: 080507 – «Менеджмент организации»;  
080502 – «Экономика и управление на предприятии» (по отраслям)*

Издательство  
Томского политехнического университета  
2011

УДК 621.791(075)

ББК 34.641я73

Т 56

**Томас К.И.**

Т 56

Технология сварочного производства: учебное пособие / К.И. Томас, Д.П. Ильященко; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 247 с.

В учебном пособии изложены теоретические основы сварки, раскрыта сущность технологических процессов, описаны оборудование, сварочные материалы для сварки плавлением, давлением, а также для газовой сварки. Рассмотрены различные виды дефектов и способы их устранения, вопросы нормирования сварочных работ.

Предназначено для студентов специальностей 150202 «Оборудование и технология сварочного производства», 080502 «Экономика и управление на предприятии (в машиностроении)», 080507 «Менеджмент организации».

**УДК 621.791(075)**

**ББК 34.641я73**

*Рецензенты*

Доктор технических наук, профессор ЮТИ ТПУ

*С.Б. Сапожков*

директор «Аттестационного регионального центра специалистов  
неразрушающего контроля», кандидат технических наук

*М.М. Коротков*

© Юргинский технологический институт (филиал)

Томского политехнического университета, 2011

© Томас К.И., Ильященко Д.П., 2011

© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2011

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ .....	7
1.1. История развития сварки.....	7
1.2. Сущность процесса сварки .....	10
1.3. Классификация способов сварки .....	11
1.4. Сварные соединения и швы.....	13
1.5. Обозначение сварных швов и соединений на чертежах .....	20
2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ .....	25
2.1. Электрическая сварочная дуга .....	25
2.1.1. Определение и виды электрической дуги.....	25
2.1.2. Образование сварочной дуги .....	27
2.1.3. Строение дуги .....	28
2.1.4. Тепловые свойства сварочной дуги .....	33
2.1.5. Вольт-амперная характеристика дуги .....	35
2.1.6. Магнитное дутье.....	36
2.2. Источники питания сварочной дуги .....	38
2.2.1. Основные требования, предъявляемые к источникам питания .....	38
2.2.2. Внешняя характеристика источника питания.....	40
2.2.3. Источники питания переменного тока .....	41
2.2.4. Сварочные выпрямители .....	51
2.2.5. Сварочные преобразователи .....	57
2.2.6. Монтаж и обслуживание сварочного оборудования .....	61
2.2.7. Источник питания как энерго и ресурсосберегающий фактор .....	65
в сварочном производстве.....	65
2.3. Металлургические процессы при дуговой сварке плавлением .....	71
2.3.1. Понятие о свариваемости.....	71
2.3.2. Основные реакции в зоне сварки.....	77
2.3.3. Кристаллизация металла сварочной ванны .....	82
2.4. Сварочные материалы .....	85
2.4.1. Сварочная проволока.....	85
2.4.2. Металлические электроды.....	91
2.4.3. Флюсы для сварки.....	98
2.4.4. Защитные газы .....	103
2.5. Ручная дуговая сварка.....	106
2.5.1. Сущность способа .....	106
2.5.2. Выбор режима ручной дуговой сварки .....	108
2.5.3. Техника выполнения швов .....	110
2.5.4. Высокопроизводительные методы сварки .....	115
2.5.5. Деформации и напряжения при сварке .....	118

2.6. Сварка под флюсом.....	121
2.6.1. Сущность, преимущества и недостатки сварки под флюсом .....	121
2.6.2. Оборудование для сварки под флюсом.....	123
2.6.3. Технология сварки под флюсом .....	130
2.6.4. Электрошлаковая сварка.....	135
2.7. Сварка в защитных газах.....	140
2.7.1. Сущность и преимущества сварки.....	140
2.7.2. Сварка в углекислом газе.....	144
2.7.3. Аргонодуговая сварка.....	156
3. ГАЗОВАЯ СВАРКА И КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА.....	161
3.1. Оборудование и аппаратура для газовой сварки .....	161
3.2. Сварочное пламя.....	167
3.3. Технология газовой сварки.....	172
3.4. Технология и оборудование кислородной резки.....	177
4. СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ.....	184
4.1. Контактная сварка .....	185
4.1.1. Стыковая сварка .....	187
4.1.2. Точечная сварка.....	190
4.1.3. Шовная сварка .....	193
4.2. Специальные виды сварки давлением.....	196
4.2.1. Холодная сварка .....	196
4.2.2. Ультразвуковая сварка .....	197
4.2.3. Диффузионная сварка.....	199
4.2.4. Сварка трением.....	201
4.2.5. Сварка взрывом.....	203
5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	205
5.1. Основные дефекты сварных швов и способы их устранения .....	206
5.1.1. Способы устранения и исправления дефектов .....	211
5.2. Неразрушающие методы контроля.....	213
5.2.1. Внешний осмотр и обмеры сварных швов .....	213
5.2.2. Контроль непроницаемости сварных швов и соединений .....	213
5.2.3. Магнитные методы контроля.....	216
5.2.4. Радиационные методы контроля .....	216
5.2.5. Ультразвуковой метод.....	218
5.3. Разрушающие методы контроля.....	218
6. ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА....	221
6.1 Техническое нормирование сварочных работ .....	221
6.1.1. Нормы труда и их характеристика .....	221
6.1.2. Нормирование ручной электродуговой сварки .....	225
6.1.3. Нормирование механизированной и автоматической сварки под флюсом.....	228

6.1.4. Нормирование электрошлаковой сварки .....	233
6.1.5. Нормирование газовой сварки.....	235
6.1.6. Нормирование контактной сварки .....	236
6.1.6. Нормирование газовой резки металла .....	240
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	244

## ВВЕДЕНИЕ

Сварка является одним из ведущих технологических процессов в машиностроении и в строительстве. Трудно назвать отрасль хозяйства, где бы не применялась сварка.

Сварка позволила внести коренные изменения в технологию производства, создать принципиально новые конструкции машин. Например, применение сварных конструкций вместо клепаных в строительстве позволило экономить около 20 % металла, снизить на 5–30 % трудоемкость изготовления конструкций.

Сварка универсальна: этим способом могут соединяться металлы в изделиях различных размеров при толщине соединяемого металла от сотых долей миллиметра до метров, при массе изделия от долей грамма до сотен и тысяч тонн. Размеры сварных изделий могут быть от долей миллиметра (приборы электроники) до гигантских размеров (пролетные конструкции железнодорожных и шоссейных мостов, корпуса океанских лайнеров, трубопроводы длиной в тысячи километров).

Сваркой можно соединять не только металлы, но и некоторые другие материалы (стекло, керамику, пластмассы). Возможна сварка разнородных металлов, например, стали с медью или алюминием.

Можно сваривать и совершенно разнородные материалы, например металлы со стеклом.

В условиях непрерывного усложнения конструкций, неуклонного роста объема сварочных работ большую роль играет правильное проведение технологической подготовки производства, в значительной степени определяющей его трудоемкость и сроки освоения, экономические показатели, использование средств механизации и автоматизации. Наибольший эффект технологической подготовки достигается при комплексном решении вопросов технологической обработки самих конструкций, разработки технологических процессов и их оснащения на всех этапах производства.

Поскольку разнообразны применение и характер изготавливаемых изделий, освоение сварки требует знаний по металлургии и металловедению, машиностроению, электротехнике, физике, химии, прочности материалов и их свойств при различных температурах, прочности сварных конструкций, автоматизации производственных процессов, начиная с простейших автоматов и полуавтоматов и кончая работами, имитирующими рабочие приемы человека.

# 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

## 1.1. ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ СВАРКИ

Впервые мысль о возможности практического применения «Электрических искр» для плавления металлов высказал в 1753 году академик Российской Академии наук Г.Р. Рихман, выполнивший ряд исследований атмосферного электричества. Практической проверке такого мнения способствовало создание итальянским ученым А. Вольта гальванического элемента (вольтова столба). В 1802 году профессор Санкт-Петербургской военно-хирургической академии В.В. Петров, используя мощный гальванический элемент, открыл явление электрической дуги. Он также указал возможные области ее практического применения. Независимо от В.В. Петрова, но несколько позже (1809 г.) электрическую дугу получил английский физик Г. Деви.

В 1882 году русский изобретатель Н.Н. Бенардос предложил способ прочного соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока. Он практически осуществил способы сварки и резки металлов электрической дугой угольным электродом. Ему также принадлежит много других важных изобретений в области сварки (спиральношовные трубы, порошковая проволока и др.). Электрическая дуговая сварка получила дальнейшее развитие в работах Н.Г. Славянова. В способе Н.Г. Славянова (1888 г.) в отличие от способа Н.Н. Бенардоса металлический стержень одновременно является и электродом, и присадочным металлом. Н.Г. Славянов разработал технологические и металлургические основы электродуговой сварки. Он применил флюс для защиты металла сварочной ванны от воздуха, предложил способы наплавки и горячей сварки чугуна, организовал первый в мире электросварочный цех. Н.Н. Бенардос и Н.Г. Славянов положили начало автоматизации сварочных процессов, создав первые устройства для механизированной подачи электрода в дугу.

Дальнейшее развитие электрической дуговой сварки несколько замедлилось в связи с конкуренцией газовой сварки кислородно-ацетиленовым пламенем. В начале XX века этот способ обеспечивал более высокое качество сварных швов, чем дуговая сварка голым электродом.

Положение изменилось, когда в 1907 году шведский инженер О. Кьельберг применил металлические электроды с нанесенным на их поверхность покрытием. Это покрытие предохраняло металл шва

от вредного воздействия воздуха (окисления и азотирования), стабилизировало горение дуги. Применение покрытых электродов обеспечило резкое повышение качества сварных соединений. Ручная электродуговая сварка плавящимся электродом начала широко применяться на заводах США, Англии, Австро-Венгрии и других стран.

Отсталая промышленность дореволюционной России так и не смогла в должном объеме использовать дуговую сварку. Промышленное применение этого вида сварки в нашей стране началось только после победы Великой Октябрьской социалистической революции. Уже в начале 20-х годов под руководством В.П. Вологодина были изготовлены сварные котлы, а несколько позже – суда и другие ответственные конструкции. В конце первой четверти XX века ручная дуговая сварка плавящимся электродом стала основным способом сварки в нашей стране и во всем мире.

Все время развиваясь, совершенствуясь, ручная дуговая сварка не утратила своего ведущего положения и в настоящее время.

Наряду с внедрением и совершенствованием ручной дуговой сварки во многих странах велись работы по изысканию новых способов защиты зоны дуги от окружающего воздуха и по механизации основных сварочных операций. Уже в начале 20-х годов в различных странах были созданы специальные механизмы-автоматы для сварки и наплавки плавящимся электродом с наносимым на их поверхность или вводимыми внутрь стержня специальными веществами, или же с окружающей дугу газовой защитой. Однако эти автоматы не получили промышленного применения, так как обеспечивали лишь небольшое повышение производительности труда по сравнению с ручной сваркой.

Новый этап в развитии механизированной дуговой сварки в нашей стране начался в конце 30-х годов, когда на основе идей, выдвинутых еще Н.Г. Славяновым, коллективом института электросварки Академии наук Украины под руководством академика Евгения Оскаровича Патона был разработан новый способ сварки, получивший название – автоматическая сварка под флюсом.

Сварка под флюсом за счет увеличения мощности сварочной дуги и надежной изоляции плавильного пространства от окружающего воздуха позволяет резко повысить производительность процесса, обеспечивать стабильность качества сварного соединения, улучшить условия труда и получить значительную экономию материалов, электроэнергии и средств.

Способ сварки под флюсом за рубежом впервые появился в США. Пути развития этого способа в зарубежных странах несколько отличались от отечественных. Различие в основном заключалось в конструк-



циях сварочных установок и применяемых сварочных материалах.

В конце 40-х годов получил промышленное применение способ дуговой сварки в защитных газах. Газ для защиты зоны сварки впервые использовал американский ученый А. Александер еще в 1928 году. Однако в те годы этот способ сварки не нашел серьезного промышленного применения из-за сложности получения защитных газов. Положение изменилось после того, как для защиты были использованы пригодные для массового применения газы (гелий, аргон в США, углекислый газ в СССР) и различные смеси газов.

Сварку неплавящимся (угольным) электродом в углекислом газе впервые осуществил Н.Г. Остапенко. Затем усилиями коллективов ЦНИИТМАШа, Института электросварки им. Е.О. Патона и ряда промышленных предприятий был разработан способ дуговой сварки в углекислом газе плавящимся электродом.

Использование дешевых защитных газов, улучшение качества сварки и повышение производительности процесса обеспечили широкое применение этого способа главным образом при механизированной сварке различных конструкций. Объем применения механизированной сварки в защитных газах из года в год возрастает. Ее широко используют вместо ручной сварки покрытыми электродами и механизированной сварки под флюсом. Для механизированной сварки находят применение также порошковая и активированная проволоки, не требующие дополнительной защиты.

Интенсивные работы ведутся по исследованию и промышленному применению разновидности дугового процесса – так называемой сварки сжатой (плазменной) дугой.

Серьезным достижением отечественной сварочной техники явилась разработка в 1949 году принципиально нового вида сварки плавлением, получившего название электрошлаковой сварки. Электрошлаковая сварка разработана сотрудниками Института электросварки им. Е.О. Патона в содружестве с работниками заводов тяжелого машиностроения. Разработка этого вида сварки позволила успешно решить весьма важные для дальнейшего развития промышленности вопросы качественной и производительной сварки металла практически неограниченной толщины и механизации сварки вертикальных швов.

Развитие сварочной техники неразрывно связано с изысканием новых источников теплоты для плавления металла. Одним из таких источников является концентрированный поток электронов в вакууме, на основе которого в конце 50-х годов французскими учеными был создан новый вид сварки, получивший название электроннолучевого процесса.

Электроннолучевая сварка находит достаточно широкое практиче-

ское применение при соединении тугоплавких химически активных металлов и сплавов и ряда специальных сталей.

В последнее время для сварки начали применять оптические квантовые генераторы – лазеры. В ближайшие годы можно ожидать дальнейших серьезных успехов в развитии и промышленном применении лучевых сварочных процессов.

Электрическая сварка плавлением достигла высокого уровня развития и стала ведущим технологическим процессом, позволяющим создавать рациональные конструкции для всех без исключения отраслей промышленности из любых практически применяющихся металлов и сплавов различной толщины. Технология электрической сварки плавлением строится на серьезной научной основе, использующей и обобщающей огромный опыт ученых, работников производства и научных коллективов – представителей различных стран и различных научных школ и направлений.

## 1.2. СУЩНОСТЬ ПРОЦЕССА СВАРКИ

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

Сущность сварки заключается в сближении элементарных частиц свариваемых частей настолько, чтобы между ними начали действовать межатомные связи, которые обеспечивают прочность соединения.

Все технически важные металлы при обычной температуре – это твердые кристаллические тела, при сварке которых возникают некоторые трудности: образование трещин, окисление, деформация металла и коробление изделия, снижение механических свойств металла в зоне сварки. Отрицательное влияние часто оказывают пленки окислов, различных загрязнений на поверхности металлов. Для осуществления сварки необходимо сблизить большое количество атомов поверхностей соединяемых металлов на очень малые расстояния, т.е. привести их в соприкосновение. Такому сближению препятствует высокая прочность и твердость металла: его атомы прочно удерживаются в узлах кристаллической решетки и малоподвижны.

Твердость металла и жесткость кристаллической решетки можно ослабить нагревом. Чем выше температура нагрева, тем мягче металл и подвижнее его атомы. При нагреве до температуры плавления металл становится жидким, атомы в нем легко перемещаются, поэтому для сваривания достаточно расплавить немного металла у соединяемых кро-

мок. Жидкий металл обеих кромок сливается в общую сварочную ванну. Образование общей ванны вследствие подвижности атомов в жидком металле происходит самопроизвольно (спонтанно) и не требует приложения каких-либо усилий. По мере охлаждения расплавленный металл затвердевает и прочно соединяет свариваемые детали.

Известен и другой способ сварки, когда сильно сжатый металл течет подобно жидкости при обычной температуре. В этом состоянии металлы свариваются, срастаясь в монолитное целое, с полным исчезновением границы раздела. Взяв две детали, приведя их в соприкосновение и сдавив с такой силой, чтобы металл обеих деталей в стыке совместно деформировался и тек подобно жидкости, получим сварное соединение деталей. Это будет сварка давлением. Пластическое деформирование металла под давлением называется осадкой.

Сварка давлением значительно облегчается и упрощается подогревом металла, поэтому в большинстве случаев сварка давлением используется с одновременным подогревом металла ниже точки его плавления.

Следовательно, различают сварку плавлением (металл нагревается до плавления, при этом осадка, как правило, не требуется) и многочисленными способами, в которых используется давление и производится осадка, для облегчения которой металл подогревается. На использовании этих двух основных факторов (нагрев металла и его осадка), которые применяются в различных комбинациях и соотношениях, базируются многочисленные способы сварки, используемые в современном производстве.

### 1.3. КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ СВАРКИ

В зависимости от вида энергии, применяемой при сварке, различают три класса сварки: термический, термомеханический и механический (ГОСТ 19521-74).

К *термическому классу* относятся виды сварки, осуществляемой плавлением, т.е. местным расплавлением соединяемых частей с использованием тепловой энергии.

Основными источниками теплоты при сварке плавлением являются сварочная дуга, газовое пламя, лучевые источники энергии и теплота, выделяемая при электрошлаковом процессе.

Источники теплоты характеризуются температурой и концентрацией, определяемой наименьшей площадью нагрева (пятно нагрева) и наибольшей плотностью тепловой энергии в пятне нагрева.

Эти показатели определяют технологические свойства источников нагрева при сварке, наплавке и резке.

Основные виды сварки термического класса – дуговая, газовая, электрошлаковая, электронно-лучевая, плазменная, лазерная, термитная и др.

*Дуговая сварка.* Необходимое для местного расплавления деталей и присадочного материала тепло образуется при горении электрической дуги между свариваемым металлом и электродом. По способу механизации сварка может быть ручная, механизированная и автоматическая. Механизированная и автоматическая сварка может быть под флюсом и в защитных газах.

*Газовая сварка.* Основной и присадочный металлы расплавляются высокотемпературным газокислородным пламенем (температура до 3200 °С).

*Электрошлаковая сварка.* Плавление основного металла и присадочного материала происходит за счет тепла, выделяющегося при прохождении электрического тока через расплавленный шлак (в период установившегося процесса).

*Электроннолучевая сварка.* Сварка выполняется в камерах с разрежением до  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  мм рт. ст. Тепло выделяется за счет бомбардировки зоны сварки электронным потоком, приобретающим высокие скорости в высоковольтной установке, имеющей мощность до 50 кВт. Анодом является свариваемая деталь, а катодом – вольфрамовая нить или спираль, нагретая до температуры 2300 °С.

*Плазменная сварка.* Плавление металлов осуществляется плазменно-дуговой струей, имеющей температуру выше 10 000 °С.

*Лазерная сварка.* Сварка основана на использовании фотоэлектронной энергии. При большом усилении световой луч способен плавить металл. Для получения такого луча применяют специальные устройства – лазеры.

*Термитная сварка.* Процесс сварки заключается в том, что свариваемые детали закладываются в огнеупорную форму, а в установленный сверху тигель засыпается термит–порошок из алюминия и окиси железа. При горении термита окись железа восстанавливается, а образующийся при этом жидкий металл при заполнении формы оплавляет и соединяет кромки свариваемых изделий.

К **термомеханическому классу** относятся виды сварки, при которых используется тепловая энергия и давление, – контактная, диффузионная, газопрессовая, и др.

Основным видом термомеханического класса является *контактная сварка* – сварка с применением давления, при которой нагрев осуществляют теплотой, выделяемой при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части.

*Диффузионная сварка* – сварка давлением, осуществляемая взаимной диффузией атомов контактирующих частей при относительно длительном воздействии повышенной температуры и при незначительной пластической деформации.

При *прессовых* видах сварки соединяемые части могут нагреваться пламенем газов, сжигаемых на выходе сварочной горелки, дугой, электрошлаковым процессом, индукционным нагревом, термитом и т.п.

К *механическому классу* относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления: холодная, взрывом, ультразвуковая, трением и др.

*Холодная сварка* – сварка давлением при значительной пластической деформации без внешнего нагрева соединяемых частей.

*Сварка взрывом* – сварка, при которой соединение осуществляется в результате вызванного взрывом соударения быстро движущихся частей.

*Ультразвуковая сварка.* Сварка осуществляется за счет превращения при помощи специального преобразователя ультразвуковых колебаний в механические высокой частоты и применения небольшого сжимающего усилия.

*Сварка трением.* Сварка заключается в том, что вследствие трения одного из свариваемых стержней о другой место соединения разогревается; при приложении осевого усилия соединяемые металлы свариваются.

#### 1.4. СВАРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ И ШВЫ

*Сварным соединением* называют элемент сварной конструкции, состоящей из двух или нескольких деталей конструкции и сварного шва, соединяющего эти детали.

Сварные соединения бывают стыковыми, угловыми, тавровыми и нахлесточными.

*Стыковым* называется сварное соединение двух элементов, расположенных в одной плоскости или на одной поверхности (табл. 1.1).

По форме подготовки кромок свариваемых деталей стыковые соединения бывают с отбортовкой кромок, без скоса кромок, с V-образным прямолинейным скосом одной или двух кромок, с V-образным криволинейным скосом одной или двух кромок, с К-образным симметричным и несимметричным скосом одной кромки, с Х-образным прямолинейным или криволинейным скосом двух кромок.

По выполнению стыковые соединения бывают односторонние и двусторонние, а по применению подкладок – без подкладок и с под-

кладками.

*Угловым* называется соединение двух элементов, расположенных под прямым или произвольным углом и сваренных в месте примыкания их краев (табл. 1.1).

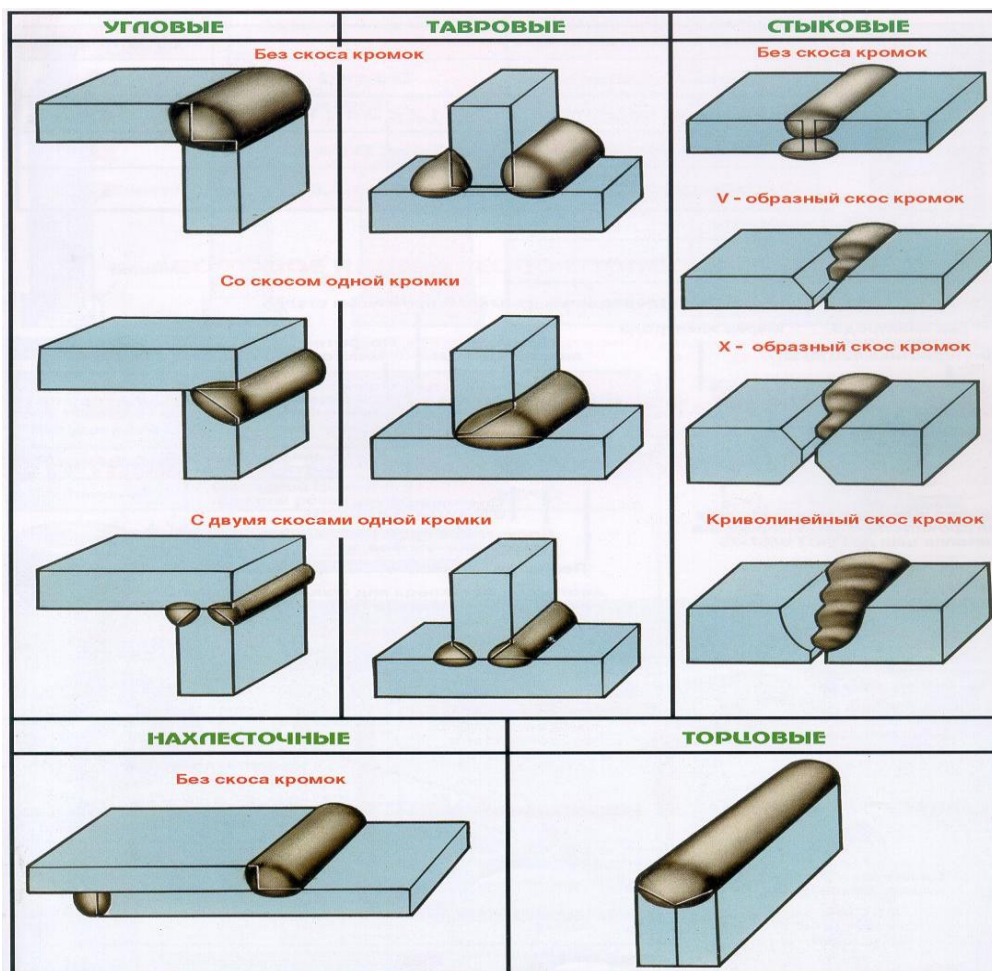
По форме подготовки кромок свариваемых деталей угловые соединения бывают с отбортовкой кромок, без скоса кромок, с одним скосом одной кромки, с двумя скосами одной кромки или с односторонним скосом двух кромок.

По выполнению угловые соединения бывают односторонние и двусторонние.

*Тавровым* называется сварное соединение, в котором к боковой поверхности одного элемента примыкает под углом и приварен торцом другой элемент (табл. 1.1).

Таблица 1.1

*Основные типы сварных соединений*



По форме подготовки кромок свариваемых деталей тавровые соединения бывают без скоса кромок, с одним и с двумя скосами одной

кромки.

По выполнению тавровые соединения могут быть односторонние и двусторонние, а по протяженности – сплошные и прерывистые.

*Нахлесточным* называется сварное соединение, в котором свариваемые элементы расположены параллельно и перекрывают друг друга (табл. 1.1).

По форме подготовки кромок свариваемых деталей нахлесточные соединения бывают без скоса кромок, с круглым и удлиненным отверстием.

По характеру выполнения шва нахлесточные соединения могут быть односторонними и двусторонними, а также односторонними прерывистыми и односторонними со сплошным швом.

*Элементами геометрической формы подготовки кромок под сварку* (рис. 1.1) являются: угол разделки кромок  $\alpha$ ; угол скоса кромки  $\beta$  (30–50°); зазор между стыкуемыми кромками  $b$ ; притупление кромок  $c$ ; длина скоса листа при наличии разности толщин  $L$ ; смещение кромок относительно друг друга  $\Delta$ .

*Угол разделки кромок*  $\alpha = (60\text{--}90^\circ)$  (рис. 1.1) выполняется при толщине металла более 3 мм, поскольку его отсутствие (разделки кромок) может привести к непровару по сечению сварного соединения, а также к перегреву и пережогу металла; при отсутствии разделки кромок для обеспечения провара электросварщик всегда старается увеличить величину сварочного тока.

Разделка кромок позволяет вести сварку отдельными слоями небольшого сечения, что улучшает структуру сварного соединения и уменьшает возникновение сварочных напряжений и деформации.

Зазор  $b$  (рис. 1.1), правильно установленный перед сваркой, позволяет обеспечить полный провар по сечению соединения при наложении первого (корневого) слоя шва, если подобран соответствующий режим сварки.  $b=1\ldots 4$  мм в зависимости от толщины металла.

*Длиной скоса листа*  $L$ ,  $L_1$  (рис. 1.1) регулируется плавный переход от толстой свариваемой детали к более тонкой, устраняются концентраторы напряжений в сварных конструкциях.

Длина  $L_1$  одностороннего скоса кромок определяется по формуле

$$L_1=5(S_1 - S)+6, \quad (1)$$

а длина  $L$  двухстороннего – по формуле

$$L_1=2,5(S_1 - S)+3. \quad (2)$$

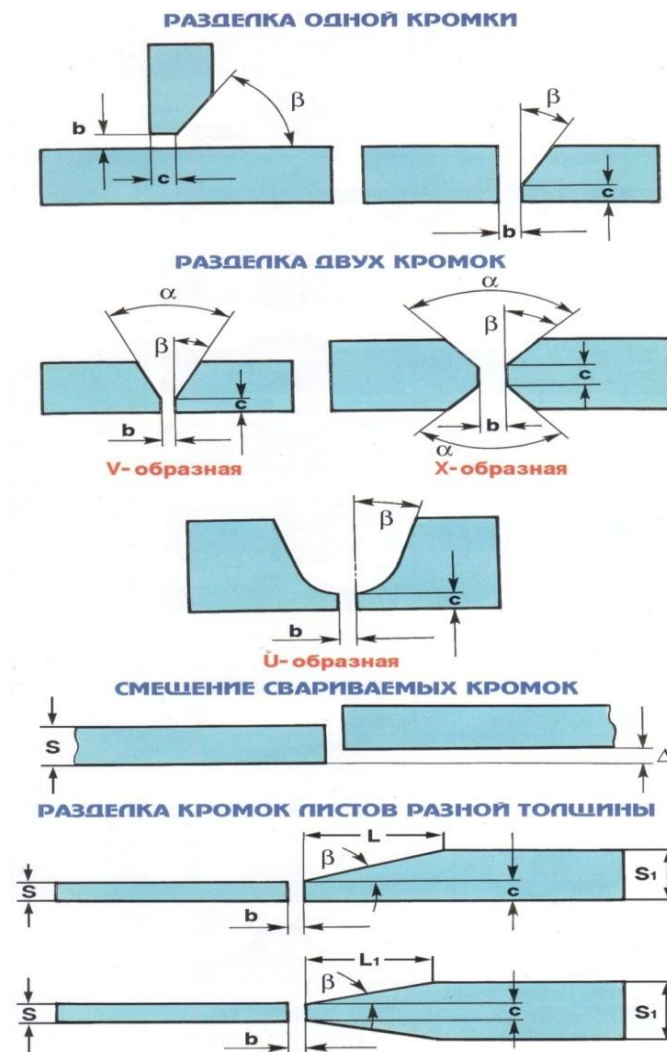


Рис. 1.1. Конструктивные элементы разделки кромок

Притупление кромок  $c$  (рис. 1.1) выполняется для обеспечения устойчивого ведения процесса сварки при выполнении корневого шва. Отсутствие притупления способствует образованию прожогов при сварке  $c = 1..3$  мм в зависимости от свариваемого материала.

Смещение кромок  $\Delta$  (рис. 1.1) ухудшает прочностные свойства сварного соединения и способствует образованию непровара и концентраций напряжений (табл. 1.2).

Таблица 1.2

Допускаемое смещение кромок

толщина металла, мм	до 4	4–10	10–100	свыше 100
наибольшее допускаемое $\Delta$ , мм	0,5	1	0,1S, но не более 3 мм	0,01S+2, но не более 4



Элементами геометрической формы сварного шва при стыковых соединениях будут: ширина шва  $e$ ; высота шва  $h$ ; при тавровых, угловых и нахлесточных соединениях высота шва  $p$  и катет шва  $K$  (рис. 1.2).

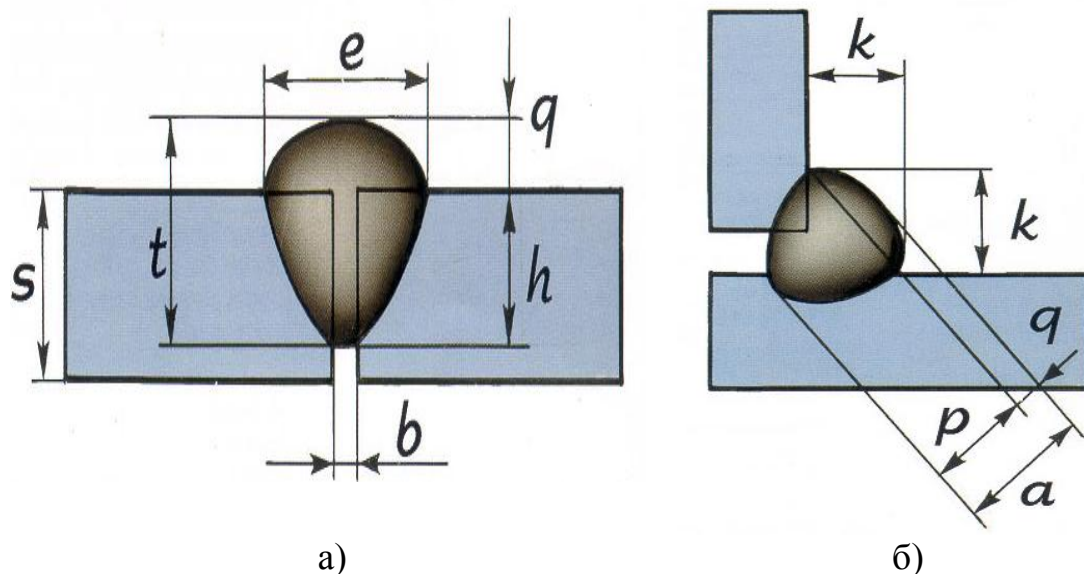


Рис. 1.2. Основные геометрические параметры сварного шва:  $a$  – стыковой шов;  $b$  – угловой шов;  $a$  – толщина углового шва;  $b$  – зазор;  $s$  – толщина свариваемого металла;  $e$  – ширина шва;  $q$  – выпуклость шва;  $h$  – глубина провара;  $t$  – толщина шва;  $k$  – катет углового шва;  $p$  – расчетная высота углового шва

Сварные швы подразделяют по следующим признакам.

- 1 По количеству наплавленных валиков:
  - а) однослойные (рис. 1.3, а);
  - б) многослойные (рис. 1.3, б).
- 2 По положению относительно действующего усилия (рис. 1.4):
  - а) фланговые;
  - б) лобовые;
  - в) косые;
  - г) комбинированные.
- 3 По положению в пространстве (рис. 1.5):
  - д) нижние;
  - е) горизонтальные;
  - ж) вертикальные;
  - з) потолочные.
- 4 По внешней форме:
  - и) выпуклые (рис. 1.6, а);
  - к) нормальные (рис. 1.6, б);
  - л) вогнутые (рис. 1.6, в).

- 5 По протяженности:
- м) непрерывные или сплошные (рис. 1.7, а);
  - н) прерывистые (рис. 1.7, б).
- 6 По направлению (рис. 1.8):
- о) прямолинейные;
  - п) кольцевые.

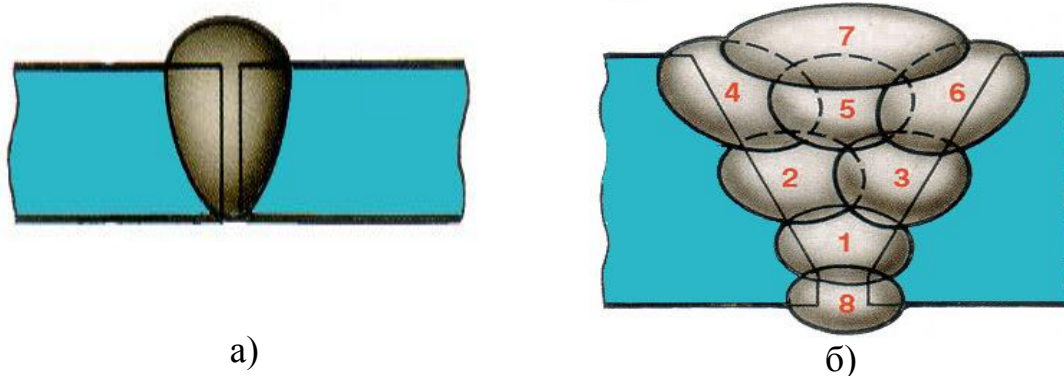


Рис. 1.3. Виды сварных швов по количеству наплавленных валиков:  
а – однослойный, б – многослойный

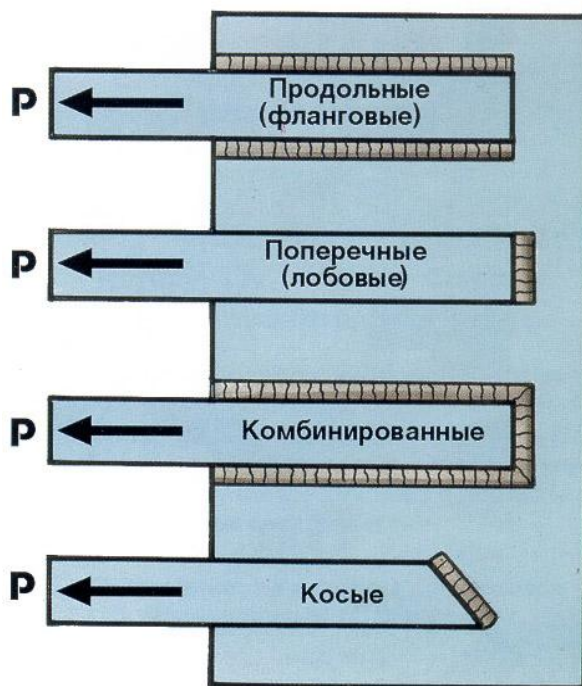


Рис. 1.4. Виды сварных швов по положению относительно действующего усилия



Рис. 1.5. Пространственное положение сварных швов

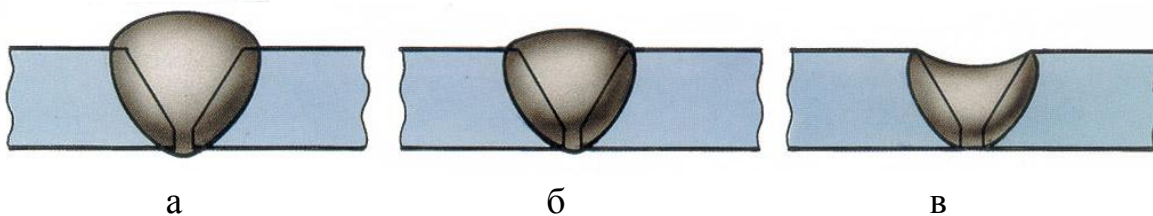


Рис. 1.6. Формы сварных швов: а – выпуклые, б – нормальные, в – вогнутые

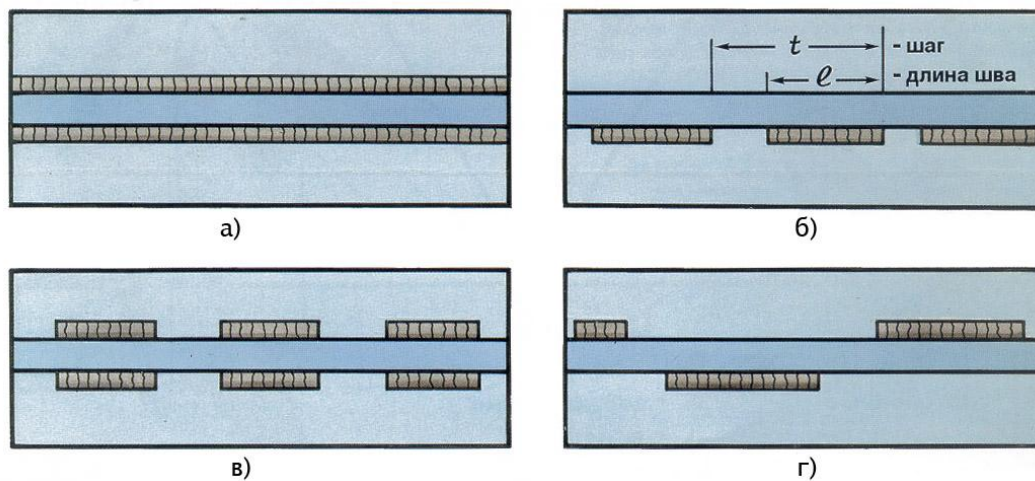


Рис. 1.7. Виды сварных швов по протяженности: а – непрерывный, б – цепной односторонний, в – цепной двухсторонний, г – шахматный;  $l$  – длина шва,  $t$  – шаг шва



Рис. 1.8. Виды сварных швов по направлению

*Выпуклые швы* имеют большее сечение и поэтому называются *усиленными*. Однако большая выпуклость для швов, работающих при знакопеременных нагрузках, вредна, так как вызывает концентрацию напряжений в местах неплавного перехода от шва к поверхности основной детали.

*Вогнутые (ослабленные) швы* применяют, как правило, в угловых соединениях. В стыковых соединениях они не допускаются.

*Нормальные швы* по сечению соответствуют расчетным и приняты как основной вид сварного шва.

*Прерывистые швы* применяют в том случае, если шов неответственный (сварка ограждений, настила и др.) или если по прочностному расчету не требуется сплошной шов. Их применяют в целях экономии материалов, электроэнергии и труда сварщика. Длину провариваемых участков прерывистого шва принимают в пределах от 50...150 мм, а промежутки делают примерно вдвое больше. Расстояние от начала предыдущего шва до начала последующего шва называют шагом шва  $t$ .

## 1.5. ОБОЗНАЧЕНИЕ СВАРНЫХ ШВОВ И СОЕДИНЕНИЙ НА ЧЕРТЕЖАХ

Обозначение сварного соединения производится на сборочных чертежах и чертежах общего вида. Согласно ГОСТ 2.312-72, сварные швы всех типов изображают сплошными линиями (видимый шов) или штриховыми линиями (невидимый шов). К изображениям сварных швов подводят линии-выноски, оканчивающиеся односторонними стрелками. Линии-выноски предпочтительно проводить от видимого шва (рис. 1.9). Условное обозначение шва наносят над полкой линии-выноски (для шва на лицевой стороне), и под полкой – для шва, выполненного на оборотной или невидимой стороне.

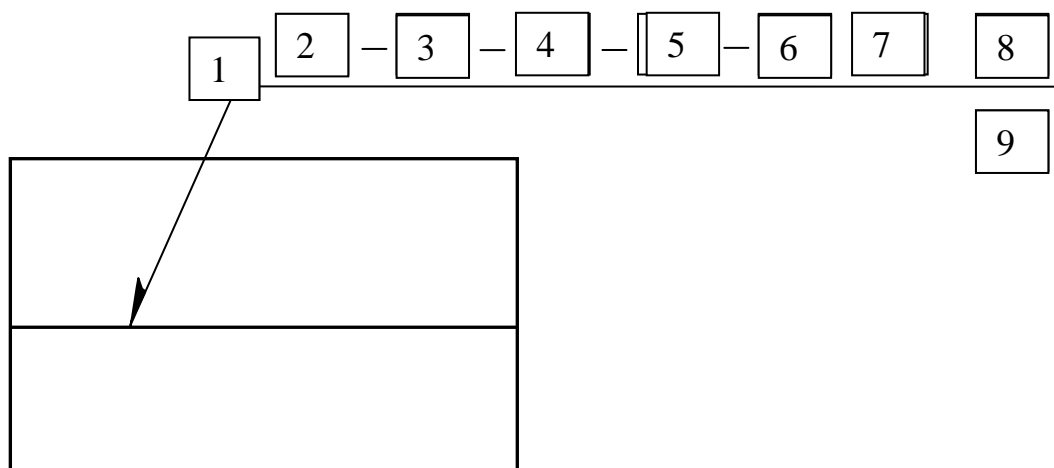
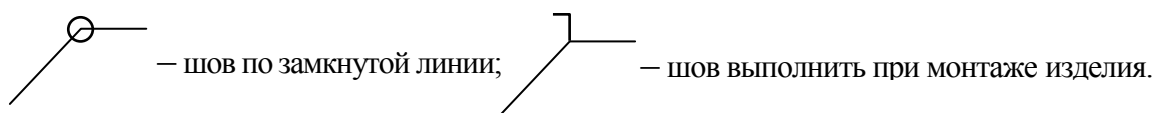


Рис. 1.9. Структура условного обозначения сварного шва

#### 1. Вспомогательные знаки:



#### 2. Обозначение стандарта на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений:

ГОСТ 5264-80 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные ручной дуговой сваркой покрытыми электродами;

ГОСТ 11534-75 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные ручной дуговой сваркой покрытыми электродами под острыми и тупыми углами;

ГОСТ 14771-76 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные сваркой в среде защитных газов;

ГОСТ 23518-79 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные сваркой в среде защитных газов под острыми и тупыми углами;

ГОСТ 16037-80 – стандарт на сварные соединения стальных трубопроводов (основные типы, конструктивные элементы и размеры);

ГОСТ 14806-80 – стандарт на дуговую сварку алюминия и его сплавов толщиной от 0,8 до 60 мм;

ГОСТ 14776-76 – стандарт на сварные электрозаклёпочные соединения, выполненные сваркой в среде защитных газов и под слоем флюса.

Перечень стандартов, используемых при соединении металлов с помощью сварки, велик, а использование конкретного стандарта определяется исходя из применяемого способа сварки. Не имеют специального стандарта соединения, выполненные газовой сваркой. Однако в стандарте ГОСТ 16037-80 регламентируется использование газовой сварки на стальных трубопроводах.

3. Буквенно-цифровое обозначение шва по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений.

Возможные буквы проставляются по первой букве типа соединения: С, Т, Н, У. После буквы в обязательном порядке должна быть проставлена цифра (порядковый номер шва в стандарте), указывающая конструктивные элементы подготовки свариваемых кромок и конкретные условия выполнения сварного соединения. Так, например, С1...С37 и т.д. Существует всего два типа нахлесточных соединений: Н1 – соединение проваривается по одной стороне, указанной на чертеже, Н2 – нахлесточное сварное соединение проваривается по двум сторонам. Величина нахлеста элементов регламентируется стандартом.

4. Условное обозначение способа сварки по стандарту на типы и конструктивные элементы швов сварных соединений.

Данную позицию допускается не проставлять, когда из стандарта понятно, что за способ сварки при этом используется. ГОСТ 5264-80 – стандарт на сварные швы и соединения, выполненные ручной дуговой сваркой покрытыми электродами, не требует дополнительного обозначения. ГОСТ 14771-76 не раскрывает конкретный способ сварки, т.к. сварка в среде защитных газов включает несколько способов: ИН – в инертном газе неплавящимся электродом, ИНп – в инертном газе неплавящимся электродом с использованием присадочного материала, УП – плавящимся электродом в среде углекислого газа, ИП – плавящимся электродом в среде инертного газа. Поэтому в данном случае обязательно проставлять обозначение способа сварки. Стандарты, требующие дополнения по способу сварки: ГОСТ 8713-79 (в редакции 1993 г.), ГОСТ 14776-79, ГОСТ 16037-80 (в редакции 1991 г.) и др.

5. Для угловых швов в данной позиции проставляется катет шва, например, 14 мм.

6. Для прерывистых швов проставляется длина провариваемого участка, для электрозаклёпочных и точечных соединений проставляется расчётный диаметр сварной точки, для швов, выполненных роликовой сваркой, – ширина шва, мм.


7. Указывается вид прерывистости соединения и шаг проставления швов: / – соединение с цепным расположением швов; Z – соединение с шахматным расположением сварных швов. Стоит обратить внимание на значения величины шага. Шаг – это расстояние от начала шва до начала следующего шва, а не расстояние между провариваемыми участками (такой смысл часто закладывают в этот размер), т.е. никогда не может быть проставлено обозначение 100 / 100. Также стоит задуматься о целесообразности следующего обозначения 150 / 160. При выполнении сварного соединения гораздо удобнее и быстрее будет прова-




ритель шов на проход (от начала до конца стыка), чем проводить разметку для выполнения прерывистых швов. Аналогично и при выполнении сварного соединения с шахматным расположением швов следует рассмотреть необходимость выполнения соединения с указанными параметрами 150 Z 130.

8. Показывают вспомогательные знаки:


 – усиление сварного шва снять;

 – наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу;


 – чистота обработки поверхности сварного шва;

 – шов по незамкнутой линии (знак применяют, если расположение шва ясно из чертежа).

9. Показывают вспомогательные знаки, относящиеся к обратной стороне сварного шва (со стороны корня):

 – усиление сварного шва снять;

 – чистота обработки поверхности сварного шва;

 – наплывы и неровности шва обработать с плавным переходом к основному металлу.

Если указанные знаки стоят под линией выноски, то они относятся к обратной стороне шва.

Возникают случаи, когда сварной шов видимый, но его необходимо выполнить с невидимой стороны, при этом основная надпись обозначения сварного шва записывается под линией-выноской (рис. 1.10).

Для более удобного чтения чертежа используется ряд упрощений при обозначении сварных швов и соединений.

Применяя при изготовлении сварной конструкции один способ сварки и форму подготовки кромок по одному стандарту, допускается в структуре условного обозначения не проставлять стандарт на основные типы, конструктивные элементы и размеры швов. При этом стандарт на сварку указывают на чертеже в технических требованиях на изготовление данной конструкции. Например, сварка осуществляется по ГОСТ 5264-80 электродами типа Э-50А.

Может быть ситуация, когда одинаковых сварных швов очень много и обозначение каждого шва загромождает чертёж. Тогда сварные швы группируют и производят полное обозначение одного сварного шва. На наклонной линии полки проставляется количество одинаковых швов и номер группы швов (рис. 1.11, а). У остальных швов проводят линии-выноски (рис. 1.11, б).

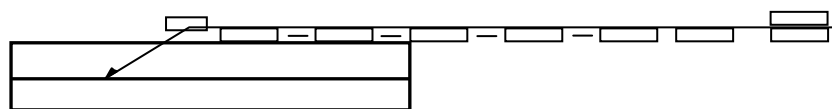


Рис. 1.10. Обозначение сварного шва, выполняемого с невидимой стороны

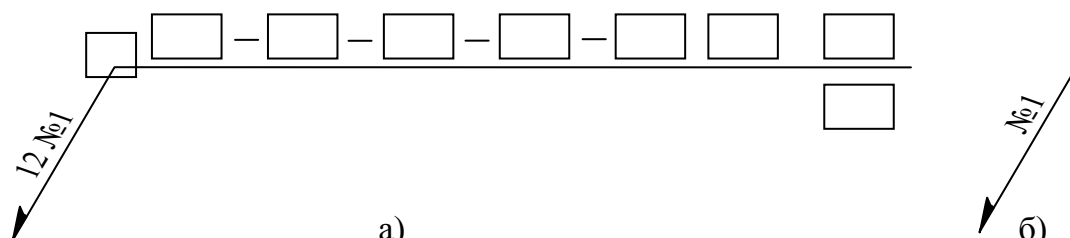


Рис. 1.11. Обозначение одинаковых швов:

а – обозначение одного шва, б – обозначение последующих швов

На них наносят порядковый номер шва. Если в следующих сварных соединениях меняется стандарт на сварку, используется другая разделка кромок и т.д., то формируют следующую группу сварных соединений. Порядковый номер группы не указывает последовательность сварки или сборки элементов сварной конструкции. Данную последовательность можно найти лишь в технологической документации.

Если все швы одинаковые и изображены с одной стороны (лицевой или оборотной), порядковый номер швам не присваивается, а швы, не имеющие обозначения, отмечают линиями-выносками.

Нестандартный сварной шов изображается с указанием размеров конструктивных элементов, необходимых для его выполнения, причём границы шва проводят сплошными линиями, а конструктивные элементы кромок в границах шва – сплошными тонкими линиями (рис. 1.12). В технических требованиях обязательно указывают способ сварки. Например, сварка ручная дуговая покрытыми электродами типа Э-46А.

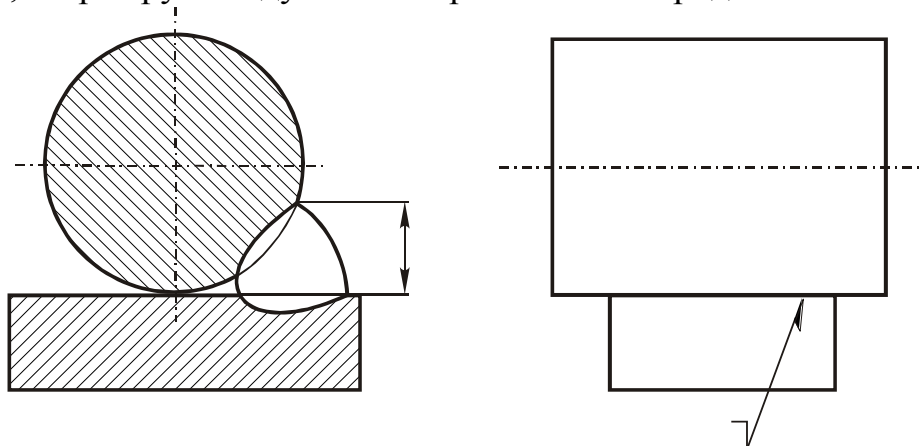


Рис. 1.12. Обозначение нестандартного сварного шва



## 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРКА ПЛАВЛЕНИЕМ

### 2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СВАРОЧНАЯ ДУГА

#### 2.1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ВИДЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ДУГИ

*Электрическая сварочная дуга* представляет собой устойчивый длительный электрический разряд в газовой среде между твердыми или жидкими электродами, осуществляемый при высокой плотности тока и сопровождаемый выделением большого количества теплоты. Электрический разряд в газе – это электрический ток, проходящий через газовую среду благодаря наличию в ней свободных электронов, а также отрицательных и положительных ионов, способных перемещаться между электродами под действием приложенного электрического поля (разности потенциалов между электродами).

По наиболее важным техническим признакам различают следующие основные группы сварочных дуг:

- по виду воздействия на изделие – дуги прямого, косвенного и комбинированного действия (рис. 2.1);
- по роду тока – дуги постоянного и переменного тока;
- по типу электрода – дуги с плавящимся и неплавящимся электродом (рис. 2.2.);
- по наличию ограничений развития дугового разряда в пространстве (рис. 2.3) – свободные и сжатые дуги;
- по наличию препятствий для циркуляции газа в околосварочном пространстве и возможности наблюдения за дуговым разрядом – открытые и закрытые дуги.

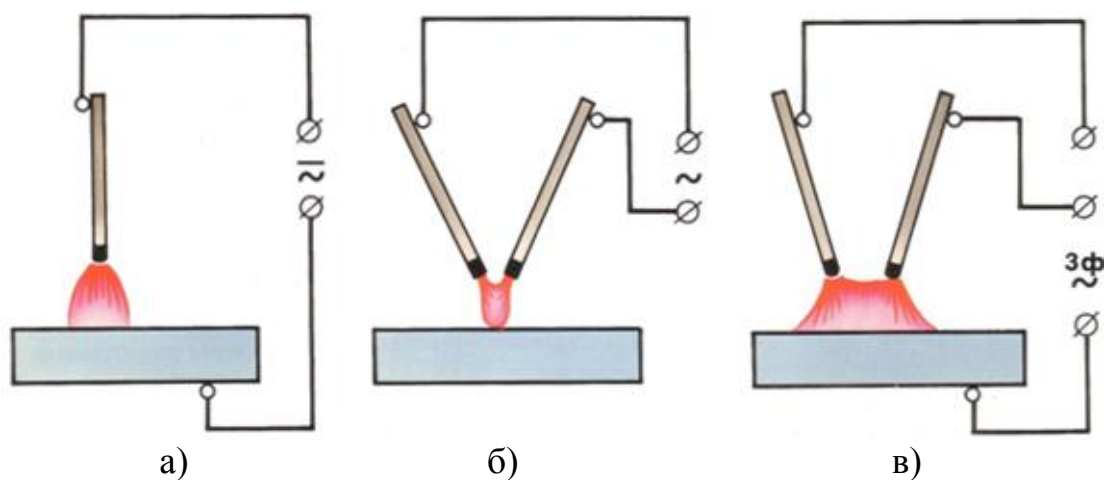
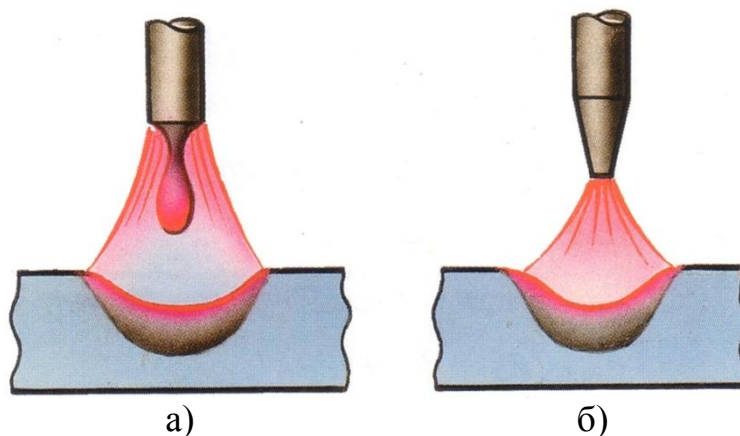
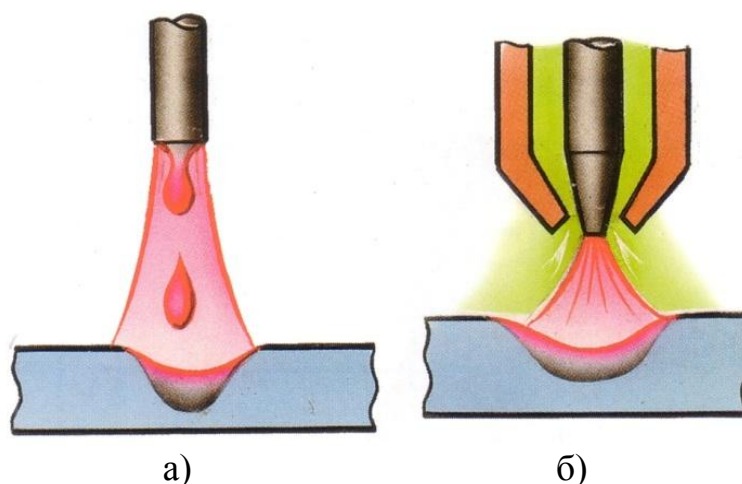


Рис. 2.1. Виды сварочных дуг:

а – прямого, б – косвенного, в – комбинированного действия (трехфазная)



*Рис. 2.2. Схема сварки плавящимся электродом (а) и сварка неплавящимся электродом (б)*



*Рис. 2.3. Схема сварки свободной (а) и сжатой дугой (б)*

В дугах прямого действия свариваемая деталь является одним из электродов, а в дугах косвенного действия – нет.

В дугах с плавящимися электродами оба электрода (или электрод и деталь) расплавляются, поставляя металл в общую сварочную ванну, а в дугах с неплавящимися электродами оба электрода (или хотя бы один), будучи тугоплавкими, не поставляют жидкого металла в сварочную ванну, хотя на торцах таких электродов и может находиться тонкая пленка жидкого металла.

Для дуг постоянного тока характерны неизменность направления тока и, как правило, небольшие колебания его силы. В дугах переменного тока происходят непрерывные изменения направления и силы тока. Такие дуги угасают каждый раз при переходе тока через нуль и возбуждаются вновь при достижении между электродами необходимой для этого величины электродвижущей силы.

Дуга считается свободной, если ее развитие в пространстве ограничено только ее естественными свойствами. При наличии искусственных ограничений дуга называется сжатой.

Дуга считается открытой, если вокруг отсутствуют преграды (кроме своих электродов), задерживающие излучение дуги или препятствующие наблюдению за ней, исключая или затрудняющие циркуляцию газа в околосдуговом пространстве. В противном случае дуга считается закрытой. Примером закрытой дуги является дуга под слоем флюса.

### **2.1.2. ОБРАЗОВАНИЕ СВАРОЧНОЙ ДУГИ**

Возбуждение дуги возможно следующими способами:

- 1) разведением электродов после короткого замыкания между ними (ручная дуговая сварка и др.);
- 2) дополнительным импульсом тока высокого напряжения и высокой частоты (сварка неплавящимся электродом и др.);
- 3) расплавлением (перегоранием) конца электродной проволоки в момент короткого замыкания (механизированная сварка с постоянной скоростью подачи электродной проволоки).

Во всех этих случаях в пространстве между электродами появляются электрически заряженные частицы (электроны и ионы), которые при наличии соответствующего напряжения (электродвижущей силы) между электродами начинают упорядоченно двигаться к электродам, т.е. происходит возбуждение дуги. Время формирования дугового разряда около  $10^{-6}$  секунды.

Процесс, при котором из нейтральных атомов и молекул образуются положительные и отрицательные ионы, называется *ионизацией*. При обычных температурах ионизацию можно вызвать, если уже имеющимся в газе электронам и ионам сообщить при помощи электрического поля большие скорости. Обладая большой энергией, эти частицы могут разбивать нейтральные атомы и молекулы на ионы. Кроме того, ионизацию можно вызвать световыми, ультрафиолетовыми, рентгеновскими лучами, а также излучением радиоактивных веществ.

В обычных условиях воздух, как и все газы, обладает весьма слабой электропроводностью. Это объясняется малой концентрацией свободных электронов и ионов в газах. Поэтому, для того чтобы вызвать в газе мощный электрический ток, т. е. образовать электрическую дугу, необходимо ионизировать воздушный промежуток (или другую газообразную среду) между электродами. Ионизацию можно произвести, если приложить к электродам достаточно высокое напряжение, тогда имею-

щиеся в газе (в малом количестве) свободные электроны и ионы будут разгоняться электрическим полем и, получив большие энергии, смогут разбить нейтральные молекулы на ионы. Однако при сварке, исходя из правил техники безопасности, нельзя пользоваться высокими напряжениями. Поэтому применяют другой способ. Так как в металлах имеется большая концентрация свободных электронов, то можно извлечь эти электроны из объема металла в газовую среду и затем использовать для ионизации молекул газа. Существует несколько способов извлечения электронов из металлов. Из них для процесса сварки имеют значение два способа – термоэлектронная и автоэлектронная эмиссии.

При *термоэлектронной эмиссии* происходит «испарение» свободных электронов с поверхности металла из-за высокой температуры. Чем выше температура металла, тем большее число свободных электронов приобретают энергии, достаточные для преодоления «потенциального барьера» в поверхностном слое и выхода из металла.

При *автоэлектронной эмиссии* извлечение электронов из металла производится при помощи внешнего электрического поля, которое несколько изменяет потенциальный барьер у поверхности металла и облегчает выход тех электронов, которые внутри металла имеют достаточно большую энергию и могут преодолеть этот барьер.

### **2.1.3. СТРОЕНИЕ ДУГИ**

Электрическая дуга постоянного тока возбуждается при соприкосновении торца электрода и кромок свариваемой детали. Контакт в начальный момент осуществляется между микровыступами поверхностей электрода и свариваемой детали (рис. 2.4, *а*). Высокая плотность тока способствует мгновенному расплавлению этих выступов и образованию пленки жидкого металла (рис. 2.4, *б*), которая замыкает сварочную цепь на участке «электрод-свариваемая деталь». При последующем отводе электрода от поверхности детали на 2...4 мм (рис. 2.4, *в*) пленка жидкого металла растягивается, а сечение уменьшается, вследствие чего возрастает плотность тока и повышается температура металла. Эти явления приводят к разрыву пленки и испарению вскипевшего металла. Возникшие при высокой температуре интенсивные термоэлектронная и автоэлектронная эмиссии обеспечивают ионизацию паров металла и газов межэлектродного промежутка.

В образовавшейся ионизированной среде возникает электрическая сварочная дуга (рис. 2.5). В установившейся сварочной дуге различают три зоны: катодную, анодную и столба дуги.



Рис. 2.4. Возбуждение сварочной дуги

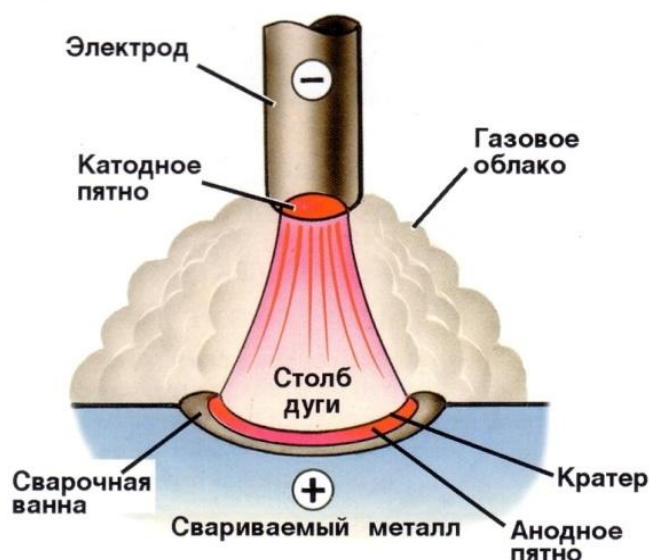


Рис. 2.5. Схема горения сварочной дуги

## КАТОДНАЯ ЗОНА

Процессы, протекающие в катодной области, играют первостепенную роль в развитии и поддержании дугового разряда. В зависимости от материала катода сварочные дуги можно разделить на дуги с неплавящимся (горячим) катодом и дуги с плавящимся (холодным) катодом.

Тип катода определяет характер и интенсивность протекания физических процессов в катодной области, в частности, процессов электронной эмиссии.

Электронная эмиссия – процесс выбрасывания (выхода) электрона с поверхности катода в окружающее пространство. Он характеризуется работой или потенциалом выхода. Но в любом случае эмиссия возможна лишь тогда, когда электрон обладает достаточной энергией, чтобы совершить работу против сил, удерживающих его внутри тела, т.е. преодолеть потенциальный барьер на границе «металл–газ». Эта работа из-

меряется в электроновольтах:  $\phi = U_B \cdot e_{\text{э}}$  ( $U_B$  – потенциал выхода электрона,  $e_{\text{э}}$  – заряд).

Термоэлектронная эмиссия является преобладающей при горячем (неплавящемся) катоде и имеет место тогда, когда кинетическая энергия находящихся на поверхности катода электронов будет больше работы выхода, т.е.

$$\frac{m \cdot v^2}{2} \geq U_B \cdot e_{\text{э}}. \quad (3)$$

Автоэлектронная эмиссия имеет место, когда на катод действует электрическое поле большой напряженности, достаточной для того, чтобы электрон с относительно низкой кинетической энергией мог пройти сквозь потенциальный барьер.

В катодном пространстве перемещаются два вида зарядов: электроны (от катода в сторону столба дуги) и положительно заряженные ионы (от столба дуги к катоду). Падая на катод, эти ионы отдают ему свою энергию и тем самым поддерживают высокую температуру катодного пятна (2400...3200 °С) и, следовательно, его способность эмитировать электроны.

Протяженность катодной области определяется длиной свободного пробега электрона и составляет около  $10^{-5}$  см. Плотность тока в катодной области достигает  $3000 \text{ А/см}^2$ , а напряженность электрического поля –  $10^6 \text{ В/см}$ .

### АНОДНАЯ ЗОНА

За исключением специальных случаев анод не имитирует положительно заряженных ионов. Поэтому анодный ток является чисто электронным. Вблизи анода оказывается избыток отрицательного пространственного заряда, и появляется анодное падение потенциала  $U_A$ .

В большинстве случаев  $U_A > U_K$ . Установлено также, что  $U_A$  практически не зависит от длины дуги, величины тока в ней, материала анода и состава атмосферы дуги. Плотность тока в анодной области достигает  $2000 \text{ А/см}^2$ , а напряженность электрического поля –  $10^4 \text{ В/см}$ . Протяженность анодной области  $l_A = 10^{-4}$  см. С помощью исследований установлено, что жидкий металл анода меньше насыщается газами. Температура анодной области составляет 2500... 4000 °С.

### СТОЛБ ДУГИ

Часть дугового пространства, находящаяся между анодной и катодной областями, называется столбом дуги. Он представляет собой сильно ионизированный газ, находящийся при относительно высокой температуре (6000...7000 °С). Такой газ называют холодной плазмой.

В холодных плазмах процессы происходят только во внешних электронных оболочках атомов. Ядерные процессы в них отсутствуют.

Ионизация газа в столбе дуги происходит за счет следующих процессов: фотоионизации, ионизации соударением и тепловой ионизации. Фотоионизация возможна при условии, что энергия фотона, равная  $h\nu$ , превышает работу ионизации  $U_i \cdot e$ , т.е.  $h\nu > U_i \cdot e$ .

Здесь  $h$  – постоянная Планка;  $\nu$  – частота колебаний;  $U_i$  – потенциал ионизации газа;  $e$  – заряд электрона. При этом атом, поглотивший фотон энергии, возбуждается, и с его внешней орбиты срывается электрон.

Тепловая ионизация обусловлена сильным возбуждением атомов при повышении температуры газа, когда кинетическая энергия электронов на внешних орбитах, равная  $\frac{3}{2}KT_c$ , становится выше работы иони-

зации, т.е.  $\frac{3}{2}KT_c > U_i \cdot e$ , и они срываются с этих орбит. Здесь  $T_c$  – температура газа в столбе дуги, а  $K$  – постоянная Больцмана.

Ионизация соударением возможна как при упругом, так и при неупругом столкновении частиц (атомов, электронов и ионов) в столбе дуги. Такие столкновения возможны, в частности, между атомами дуговых газов и электронами, эмитированными с поверхности катода и выходящими из катодной области в столб дуги с энергией  $U_k \cdot e$ . Если эта энергия будет больше работы ионизации газа ( $U_k \cdot e > U_i \cdot e$ ), то произойдет его ионизация.

Температура столба дуги и степень ионизации газа в нем уменьшается с увеличением расстояния от его оси, а по длине столба не изменяется. Напряженность электрического поля в столбе дуги зависит от состава дуговых газов и паров. Электрический ток в столбе дуги переносится электронами и положительно и отрицательно заряженными ионами. Плотность тока достигает  $2000 \text{ А/см}^2$ . Длина столба дуги в большинстве случаев не превышает нескольких миллиметров.

При использовании *переменного тока* анодное и катодное пятна меняются местами с частотой, равной частоте тока.

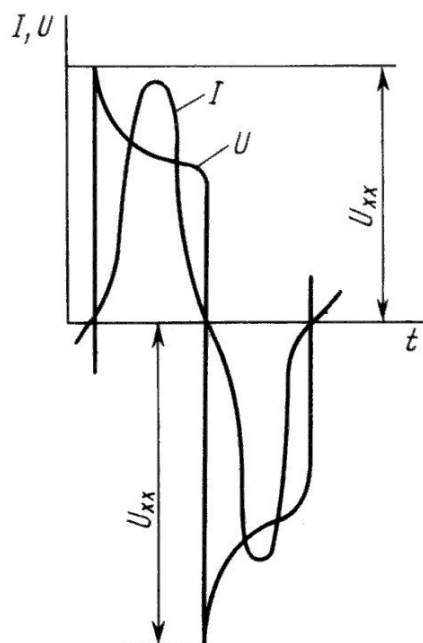


Рис. 2.6. Осциллограмма тока и напряжения дуги переменного тока

С течением времени напряжение  $U$  и ток  $I$  периодически изменяются от нулевого значения до наибольшего, как показано на рисунке 2.6 ( $U_{xx}$  — напряжение зажигания дуги). При переходе значения тока через нуль и перемене полярности в начале и в конце каждого полупериода дуга гаснет, температура активных пятен и дугового промежутка снижается. Вследствие этого происходит деионизация газов и уменьшение электропроводности столба дуги. Интенсивнее падает температура активного пятна, расположенного на поверхности сварочной ванны в связи с отводом теплоты в массу основного металла. Повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода возможно только при повышенном напряжении, называемом *пиком зажигания*. При этом установлено, что пик зажигания несколько выше, когда катодное пятно находится на основном металле. Для снижения пика зажигания, облегчения повторного зажигания дуги и повышения устойчивости ее горения применяют меры, снижающие эффективный потенциал ионизации газов в дуге.

При этом электропроводность дуги после угасания дуги сохраняется дольше, пик зажигания снижается, дуга легче возбуждается и горит устойчивее.

К этим мерам относится применение различных стабилизирующих элементов (калий, натрий, кальций и др.), вводимых в зону дуги в виде электродных покрытий или в виде флюсов.

Важное значение имеет сдвиг фаз между напряжением и током: необходимо, чтобы при переходе тока через нулевое значение напряжение было достаточным для возбуждения дуги.



### 2.1.4. ТЕПЛОВЫЕ СВОЙСТВА СВАРОЧНОЙ ДУГИ

Энергия мощных потоков заряженных частиц, бомбардирующих катод и анод, превращается в тепловую энергию электрической дуги. Суммарное количество теплоты  $Q$  (Дж), выделяемое дугой на катоде  $Q_k$ , аноде  $Q_a$  и столбе дуги  $Q_c$ , определяется по формуле

$$Q = I \cdot U_d \cdot t, \quad (4)$$

где  $I$  – сварочный ток, А;  $U_d$  – напряжение дуги, В;  $t$  – время горения дуги, с.

При питании дуги постоянным током (рис. 2.7) наибольшее количество теплоты выделяется в зоне анода (42...43 %). Это объясняется тем, что анод подвергается более мощной бомбардировке заряженными частицами, чем катод, а при столкновении частиц в столбе дуги выделяется меньшая доля общего количества теплоты.

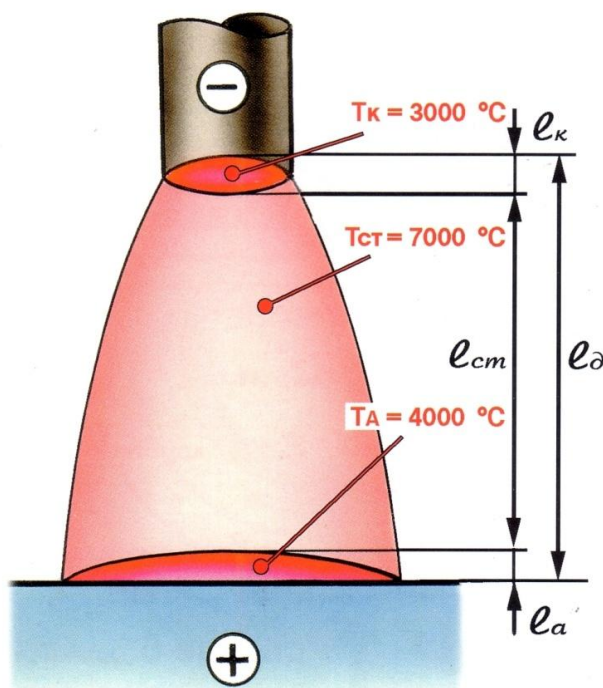


Рис. 2.7. Строение и характеристики сварочной дуги:  $l_d$  – длина дуги;  $l_k$  – катодной области;  $l_a$  – анодная область;  $l_{ст}$  – столб дуги

При сварке угольным электродом температура в катодной зоне достигает  $3200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в анодной –  $3900\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в столбе дуги среднее значение температуры составляет  $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При сварке металлическим электродом температура катодной зоны составляет около  $2400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а анодной зоны –  $2600\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Разная температура катодной и анодной зон, а также и разное ко-

личество теплоты, выделяющееся в этих зонах, используются при решении технологических задач. При сварке деталей, требующих большого подвода теплоты для прогрева кромок, применяют так называемую прямую полярность, при которой анод (плюсовая клемма источника тока) подсоединяют к детали, а катод (минусовая клемма источника тока) – к электроду. При сварке тонкостенных изделий, тонколистовых конструкций, а также сталей, не допускающих перегрева (нержавеющие, жаропрочные, высокоуглеродистые и др.), применяют сварку постоянным током обратной полярности. В этом случае катод подсоединяют к свариваемой детали, а анод – к электроду. При этом не только обеспечивается относительно меньший нагрев свариваемой детали, но и ускоряется процесс расплавления электродного материала за счет более высокой температуры анодной зоны и большего подвода теплоты.

При питании дуги переменным током различие температур катодной и анодной зон и распределение теплоты сглаживаются вследствие периодической смены катодного и анодного пятен с частотой, равной частоте тока.

Практика показывает, что в среднем при ручной сварке только 60...70 % теплоты дуги используется на нагревание и плавление металла. Остальная часть теплоты рассеивается в окружающую среду через излучение и конвекцию.

Количество теплоты, используемое на нагрев и плавку свариваемого металла в единицу времени, называется *эффективной тепловой мощностью дуги*  $Q_э$  (Дж). Она равна полной тепловой мощности дуги, умноженной на эффективный коэффициент полезного действия  $\eta$  нагрева металла дугой:

$$Q_э = I \cdot U \cdot \eta. \quad (5)$$

Коэффициент  $\eta$  зависит от способа сварки, материала электрода, состава электродного покрытия и других факторов. При ручной дуговой сварке электродом с тонким покрытием или угольным электродом  $\eta$  составляет 0,5...0,6, а при качественных электродах – 0,7...0,85. При аргонодуговой сварке потери теплоты значительны и составляют 0,5...0,6. Наиболее полно используется теплота при сварке под флюсом ( $\eta = 0,85...0,93$ ).

Для характеристики теплового режима процесса сварки принято определять *погонную энергию дуги*, т.е. количество теплоты, вводимое в металл на единицу длины однопроходного шва, измеряемое в Дж/м. Погонная энергия  $Q_n$  равна отношению эффективной тепловой мощности  $Q_э$  к скорости сварки  $v$  и имеет вид

$$Q_n = I \cdot U \cdot \eta / v. \quad (6)$$

Потери теплоты при ручной дуговой сварке составляют примерно 25 %, из которых 20 % уходят в окружающую среду дуги через излучение и конвекцию паров и газов, а остальные 5 % – на угар и разбрызгивание свариваемого металла. Потери теплоты при автоматической сварке под флюсом составляют только 17 %, из которых 16 % расходуются на плавление флюса, а на угар и разбрызгивание затрачивается около 1 % выделяемой дугой теплоты.

### **2.1.5. ВОЛЬТ-АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДУГИ**

Зависимость напряжения дуги от тока в сварочной цепи называют *статической вольт-амперной характеристикой дуги*.

Вольт-амперная характеристика дуги (рис. 2.8) имеет три области: падающую, жесткую и возрастающую. В области 1 (до 100 А) с увеличением тока напряжение значительно уменьшается. Это происходит в связи с тем, что при повышении тока увеличивается поперечное сечение, а следовательно, и проводимость столба дуги. В области 2 (100...1000 А) при увеличении тока напряжение сохраняется постоянным, так как сечение столба дуги и площади анодного и катодного пятен увеличиваются пропорционально току. Область характеризуется постоянством плотности тока. В области 3 (более 1000А) увеличение тока вызывает возрастание напряжения вследствие того, что увеличение плотности тока выше определенного значения не сопровождается увеличением катодного пятна ввиду ограниченности сечения электрода. Дуга области 1 горит неустойчиво и поэтому имеет ограниченное применение. Дуга области 2 горит устойчиво и обеспечивает нормальный процесс сварки.

Напряжение, необходимое для возбуждения дуги, зависит от рода тока (постоянный или переменный), дугового промежутка, материала электрода и свариваемых кромок, покрытия электродов и ряда других факторов. Значения напряжений, обеспечивающих возникновение дуги в дуговых промежутках, равных 2...4 мм, находятся в пределах 40...70 В. Напряжение для установившейся сварочной дуги может быть определено по формуле

$$U_d = a + bl_d, \quad (7)$$

где  $a$  – коэффициент, по своей физической сущности составляющий сумму падений напряжений в зонах катода и анода, В;  $b$  – коэффициент, выражающий среднее падение напряжения на единицу длины дуги, В/мм;  $l_d$  – длина дуги, мм.

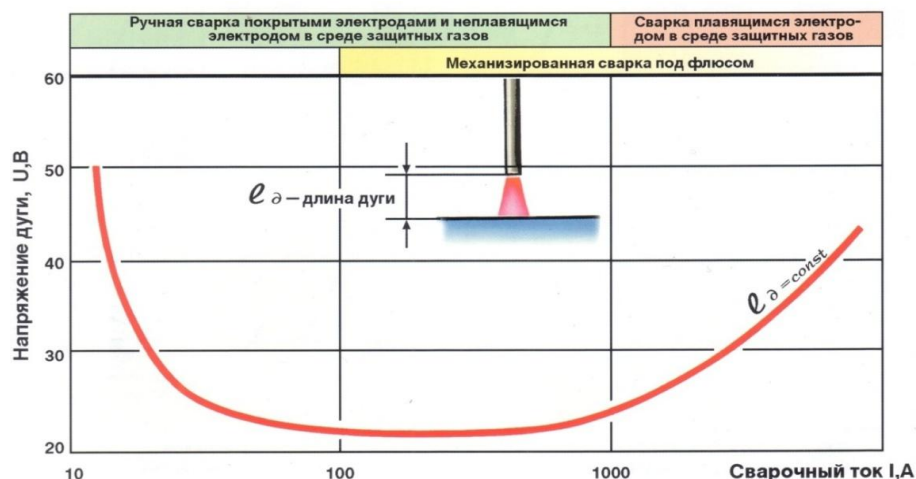


Рис. 2.8. Вольт-амперная характеристика дуги

Длиной дуги (рис. 2.9) называется расстояние между торцом электрода и поверхностью сварочной ванны. Короткой дугой называют дугу длиной 2...4 мм. Длина нормальной дуги составляет 4...6 мм. Дугу длиной более 6 мм называют длинной.

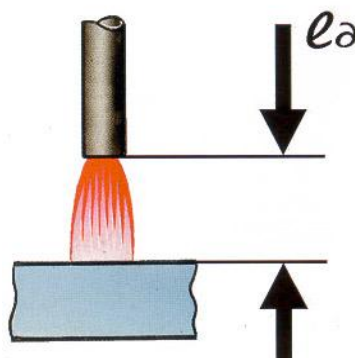


Рис. 2.9. Длина сварочной дуги

Оптимальный режим сварки обеспечивается при короткой дуге. При длинной дуге процесс протекает неравномерно, дуга горит неустойчиво; металл, проходя через дуговой промежуток, больше окисляется и азотируется, увеличивается угар и разбрызгивание металла.

### 2.1.6. МАГНИТНОЕ ДУТЬЕ

В сварочной дуге столб дуги можно рассматривать как гибкий проводник, по которому проходит электрический ток и который под воздействием электромагнитного поля может изменять свою форму. Если будут созданы условия для взаимодействия электромагнитного поля, возникающего вокруг сварочной дуги, с посторонними магнитными полями, с собственным полем сварочной цепи, а также с ферромагнитны-

ми материалами, то в этом случае наблюдается отклонение дугового разряда от первоначальной собственной оси. При этом иногда нарушается и сам процесс сварки. Это явление получило название *магнитного дутья*.

Рассмотрим несколько примеров, показывающих воздействие внешнего магнитного поля на сварочную дугу.

1. Если вокруг дуги создано симметричное магнитное поле, то дуга не отклоняется, так как созданное поле оказывает симметричное действие на столб дуги (рис. 2.10, а).

2. На столб сварочной дуги действует несимметричное магнитное поле, которое создается током, протекающим в изделии; столб дуги при этом будет отклоняться в сторону противоположную токопроводу (рис. 2.10, б–в).

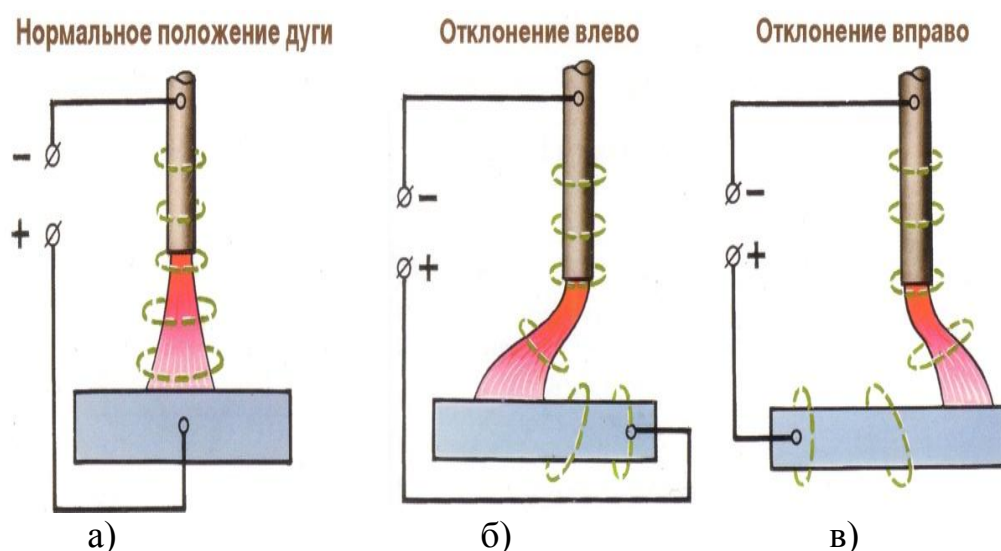


Рис 2.10. Зависимость отклонения дуги от положения токоподвода

Существенное значение имеет и угол наклона электрода, который также вызывает отклонение дуги (рис. 2.11).

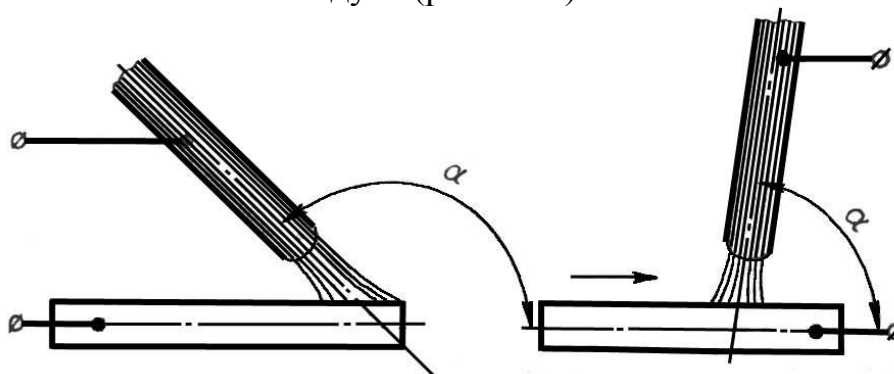
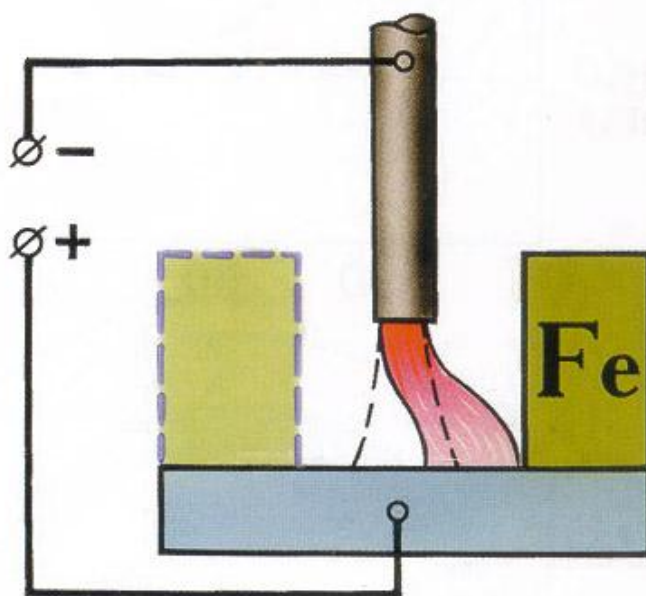


Рис. 2.11. Влияние наклона электрода на отклонение дуги

Сильным фактором, действующим на отклонение дуги, являются ферромагнитные массы: массивные сварные изделия (ферромагнитные массы) имеют большую магнитную проницаемость, чем воздух, а магнитные силовые линии всегда стремятся пройти по той среде, которая имеет меньшее сопротивление, поэтому дуговой разряд, расположенный ближе к ферромагнитной массе всегда отклоняется в ее сторону (рис. 2.12). Влияние магнитных полей и ферромагнитных масс можно устранить путем изменения места токоподвода, наклона электрода в сторону действия магнитного дутья, путем временного размещения ферромагнитного материала для создания симметричного магнитного поля и заменой постоянного тока переменным.



*Рис. 2.12. Влияние ферромагнитных масс на отклонение дуги при сварке*

## **2.2. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СВАРОЧНОЙ ДУГИ**

### **2.2.1. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ИСТОЧНИКАМ ПИТАНИЯ**

Важным условием получения сварного шва высокого качества является устойчивость процесса сварки. Для этого источники питания дуги должны обеспечить хорошее возбуждение и стабильное горение дуги.

Возбуждение сварочной дуги начинается с короткого замыкания сварочной цепи – контакта между электродом и деталью. При этом происходит выделение теплоты и быстрое разогревание места контакта. Эта начальная стадия требует повышенного напряжения сварочного тока.

В дальнейшем происходит некоторое уменьшение сопротивления дугового промежутка (вследствие эмиссии электронов с катода и появления объемной ионизации газов в дуге), что вызывает снижение напряжения до предела, необходимого для поддержания устойчивого горения дуги. В процессе сварки при переходе капель электродного металла в сварочную ванну происходят очень частые короткие замыкания сварочной цепи. Вместе с этим изменяется длина сварочной дуги. При каждом коротком замыкании напряжение падает до нулевого значения. Для последующего восстановления дуги необходимо напряжение порядка 25...30 В. Такое напряжение должно быть обеспечено за время не более 0,05 с, чтобы поддержать горение дуги в период между короткими замыканиями. Следует учесть, что при коротких замыканиях сварочной цепи развиваются большие токи (токи короткого замыкания), которые могут вызвать перегрев в проводке и обмотках источника тока.

Эти условия процесса сварки в основном и определили требования, предъявляемые к источникам питания сварочной дуги.

Для обеспечения устойчивого процесса сварки источники питания дуги должны удовлетворять следующим требованиям:

1) напряжение холостого хода должно быть достаточным для легкого возбуждения дуги и в то же время не должно превышать норм безопасности. Максимально допустимое напряжение холостого хода установлено для источников постоянного тока – 90 В, для источников переменного тока – 80 В;

2) напряжение устойчивого горения дуги (рабочее напряжение) должно быстро устанавливаться и изменяться в зависимости от длины дуги. С увеличением длины дуги напряжение должно быстро возрастать, а с уменьшением – быстро падать. Время восстановления рабочего напряжения от 0 до 30 В после каждого короткого замыкания (при капельном переносе металла от электрода к свариваемой детали) должно быть менее 0,05 с;

3) ток короткого замыкания не должен превышать сварочный ток более чем на 40...50 %. При этом источник тока должен выдерживать продолжительные короткие замыкания сварочной цепи. Это условие необходимо для предохранения обмоток источника тока от перегрева и повреждения;

4) мощность источника тока должна быть достаточной для выполнения сварочных работ;

5) иметь устройства для плавного регулирования силы сварочного тока;

6) Обладать заданной внешней характеристикой.

### 2.2.2. ВНЕШНЯЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

Источники тока для питания сварочной дуги должны иметь специальную сварочную внешнюю характеристику. *Внешней характеристикой источника питания* называется зависимость между напряжением на его выходных клеммах и током в сварочной цепи.

Внешние характеристики (рис. 2.13) могут быть следующих основных видов: крутопадающая 1, пологопадающая 2, жесткая 3, возрастающая 4.

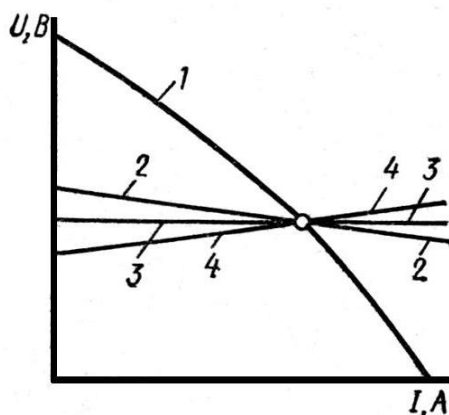


Рис. 2.13. Основные типы внешних характеристик источников питания для дуговой сварки: 1 – крутопадающая, 2 – пологопадающая, 3 – жесткая, 4 – возрастающая

Источник тока с соответствующей внешней характеристикой выбирают в зависимости от вольт-амперной характеристики дуги (рис. 2.8).

Участки 1 и 2 ВАХ (рис. 2.8) соответствуют режимам сварки, применяемым при ручной сварке плавящимся покрытым электродом, а также неплавящимся электродом в среде защитных газов. Механизированная сварка под флюсом соответствует 2 области (рис. 2.8) и частично захватывает 3 область (рис. 2.8) при использовании тонких электродных проволок и повышенной плотности тока, сварка плавящимся электродом в защитных газах соответствует 3 области ВАХ (рис. 2.8). Для питания дуги с падающей или жесткой ВАХ применяют источники питания с падающей или пологопадающей внешней характеристикой.

Для питания дуги с возрастающей ВАХ применяют источники тока с жесткой или возрастающей внешней характеристикой.

Для питания сварочной дуги применяют источники переменного тока (сварочные трансформаторы) и источник постоянного тока – сварочные генераторы с приводом от электродвигателя (сварочные преобразователи), сварочные генераторы с приводом от двигателя внутренне-



го сгорания (сварочные агрегаты) и полупроводниковые сварочные выпрямители.

Сварочные трансформаторы благодаря своим технико-экономическим показателям имеют преимущества по сравнению с источниками постоянного тока. Они проще в эксплуатации, долговечнее, обладают более высоким к.п.д.

Источники постоянного тока предпочтительнее в технологическом отношении: при их применении повышается устойчивость горения дуги, улучшаются условия сварки в различных пространственных положениях и др.

Основные технические показатели источников питания сварочной дуги: внешняя характеристика, напряжение холостого хода, относительная продолжительность работы (*ПР*) и относительная продолжительность включения (*ПВ*) в прерывистом режиме.

Величина *ПР* определяется как отношение продолжительности рабочего периода источника питания к длительности полного цикла работы и выражается в процентах:  $ПР = (t_p / t_u) 100$ , где  $t_p$  – непрерывная работа под нагрузкой (сварка);  $t_u$  – длительность полного цикла (сварка + пауза). Оптимальная величина *ПР* принята 60 %. Различие между *ПР* и *ПВ* состоит в том, что в первом случае источники питания во время паузы не отключаются от сети и при разомкнутой сварочной цепи работают на холостом ходу, а во втором случае источники полностью отключаются от сети, что имеет место при механизированной сварке.

### 2.2.3. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Сварочные аппараты переменного тока состоят из понижающего трансформатора и специального устройства, создающего падающую внешнюю характеристику и регулирующего сварочный ток. Они подразделяются на две основные группы:

- 1) аппараты, состоящие из трансформатора с жесткой внешней характеристикой и дросселя;
- 2) аппараты, имеющие трансформатор с падающей внешней характеристикой, создаваемой усиленными полями рассеяния в самом трансформаторе.

Сварочные аппараты первой группы могут быть с отдельным дросселем (на отдельном магнитопроводе) и со встроенным дросселем (на общем магнитопроводе трансформатора).

Технические данные сварочных трансформаторов приведены в таблице 2.1.

Внешний вид сварочного трансформатора приведен на рис. 2.14.

Таблица 2.1

*Сварочные трансформаторы*

Название	Технические характеристики							
Модель	Напряжение питающей сети, В	Номинальный сварочный ток, А	Потребляемая мощность, кВт	Напряжение холостого хода, В	Пределы регулирования сварочного тока, А	Габариты, мм	Вес, кг	Диаметр используемых электродов/св. проволоки, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nordika 3250 (Telwin)	220	250 (ПН 20 %)	-	-	55–250	650*325*425	23	1,6–3,2
Nordika 1800 (Telwin)	220	160 (ПН 20 %)	-	-	40–140	370*250*310	30	1,6–3,2
ТДМ-503 (Telwin)	380	500 (ПН 60 %)	-	-	100–500	510*500*590	120	3–8
ТДМ-3010 (Завод Электрик)	2*380	300 (ПН 35 %)	18	60	90–300	395*310*650	60	2–6
ТДМЭ-160	220/380	160 (ПН 20 %)	-	60	40–160	175*410*290	20	-
ТДМ-160	220	160 (ПН 20 %)	-	44	55–160	240*340*380	27	-
ТДМ-200.1	220/380	200 (ПН 20 %)	-	60	60–200	190*400*270	20	-
ТДМ-305	220/380	200 (ПН 40 %)	-	65	60–200	520*420*530	78	-
ТДМ-205	220	250 (ПН 40 %)	-	60	40–200	420*310*420	40	-
ТДМ-405	380	400 (ПН 40 %)	-	65	70–400	520*400*610	85	-

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ТДМ-505А с переключ.	380	500 (ПН 35 %)	-	70	70–500	560*420*620	85	-
ТСБ-145 У3 (ЗАО «Искра»)	1*220	145 (ПН 20 %)	7,3	-	60–145	330*220*340	21,5	2–4
ТДМ-201У2 (ЗАО «Искра»)	1*220/ 1*380	200 (ПН 20 %)	4,4	-	50–200	410*800*410	54	1,6–5
ТДМ-401 У2 (ЗАО «Искра»)	1*380/ 1*220	400 (ПН 60 %)	26,6	-	70–460	585*850*565	140	3–8
ТДМ-501 У2 (ЗАО «Искра»)	1*380/ 1*220	500 (ПН 50 %)	32,0	-	100– 560	585*850*565	140	3–10
ТДМ-402Ш У2 (ЗАО «Искра»)	1*380/ 1*220	400 (ПН 60 %)	26,6	-	70–460	585*848*555	100	3–8
СТВ-225 (Электрик МИКС)	400	-	-	62–67	40–225	390*660*330	50,5	-
BESTERKA 1300 (Элек- трик МИКС)	230/400	120		49–52	120	190*280*450	17	-
BESTERKA 1500 (Элек- трик МИКС)	230/400	-	-	43–46/ 50–55	25–110/ 40–160	190*280*450	19,5	-
BESTERKA 1600 TURBO (Электрик МИКС)	230/400	-	-	60–64	40–125	230*305*440	21	-
BESTERKA 1900 TURBO (Электрик МИКС)	230/400	-	-	57–61	50–140	230*305*440	21	-
BESTERKA 2100 TURBO (Электрик МИКС)	230/400	-	-	53,8– 56,7/ 60–63	50–105/ 60–160	230*305*440	22	-
ТДМ-140 (ООО «ИТС- Краснярск»)	220	140 (ПН 15 %)	7,5	51	40–140	270*240*240	28	2–3

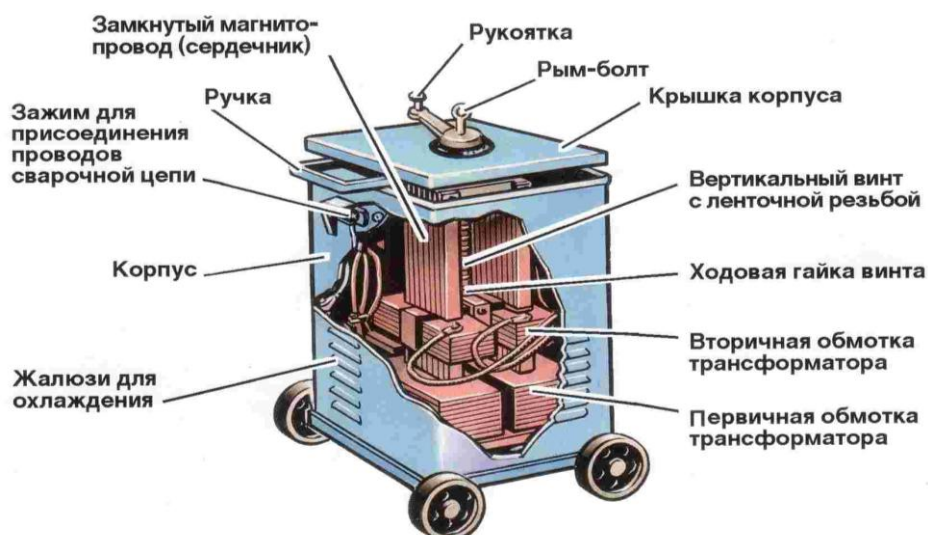


Рис. 2.14. Внешний вид сварочного трансформатора

Сварочные аппараты с отдельным дросселем (рис. 2.15) состоят из понижающего трансформатора и дросселя регулятора тока. Трансформатор  $Tr$  имеет сердечник (магнитопровод) 2 из отштампованных пластин, изготовленных из тонкой трансформаторной стали толщиной 0,5 мм. На сердечнике расположены первичная и вторичная 3 обмотки. Первичная обмотка из изолированной проволоки подключается к сети переменного тока напряжением 220 или 380 В. Во вторичной обмотке, изготовленной из медной шины, индуцируется ток напряжением 60...70 В. Последовательно вторичной обмотке в сварочную цепь включена обмотка 4 (из голой медной шины) дросселя  $Dr$  (регулятора тока). Сердечник дросселя набран из пластин тонкой трансформаторной стали и состоит из двух частей: неподвижной 5, на которой расположена обмотка дросселя, и подвижной 6, перемещаемой с помощью винтовой пары 7. При вращении рукоятки по часовой стрелке воздушный зазор  $a$  увеличивается, а против часовой стрелки – уменьшается.

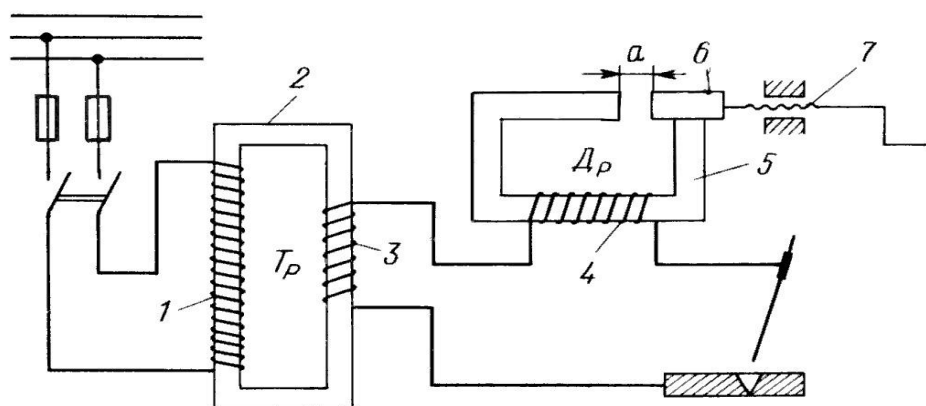


Рис. 2.15. Схема сварочного аппарата с отдельным дросселем

При возбуждении дуги (при коротком замыкании) большой ток, проходя через обмотку дросселя, создает мощный магнитный поток, наводящий э.д.с. дросселя, направленную против напряжения трансформатора. Вторичное напряжение, развиваемое трансформатором, полностью поглощается падением напряжения в дросселе. Напряжение в сварочной цепи почти достигает нулевого значения. При возникновении дуги сварочный ток уменьшается; вслед за ним уменьшается э.д.с. самоиндукции дросселя, направленная против напряжения трансформатора, и в сварочной цепи устанавливается рабочее напряжение, необходимое для устойчивого горения дуги, меньшее, чем напряжение холостого хода. Изменяя зазор  $a$  между неподвижным и подвижным магнитопроводом, изменяют индуктивное сопротивление дросселя и тем самым ток в сварочной цепи. При увеличении зазора магнитное сопротивление магнитопровода дросселя увеличивается, магнитный поток ослабляется, уменьшается э.д.с. самоиндукции катушки и ее индуктивное сопротивление. Это приводит к возрастанию сварочного тока. При уменьшении зазора сварочный ток уменьшается. По этой схеме изготовлены и эксплуатируются сварочные трансформаторы типа СТЭ. Трансформаторы СТЭ-24-У и СТЭ-34-У не сложны по устройству и безопасны в работе и поэтому широко применяются при ручной дуговой сварке.

*Сварочные аппараты со встроенным дросселем* (рис. 2.16) имеют электромагнитную схему, разработанную академиком В.П. Никитиным.

Сердечник трансформатора состоит из основного магнитопровода, на котором расположены первичная 2 и вторичная 6 обмотки собственно трансформатора и добавочного магнитопровода 4 с обмоткой дросселя 5 (регулятор тока). Добавочный магнитопровод расположен над основным и состоит из неподвижной и подвижной частей, между которыми при помощи винтового механизма 3 устанавливается необходимый воздушный зазор  $a$ . Магнитный поток, создаваемый обмоткой дросселя, может иметь попутное или встречное направление с потоком, создаваемым вторичной обмоткой трансформатора, в зависимости от того, как включены эти обмотки. При встречном соединении магнитные потоки, возникающие при прохождении тока во вторичной обмотке трансформатора  $\Phi_t$  и обмотке регулятора тока  $\Phi_d$ , будут направлены навстречу друг другу. При этом напряжение холостого хода  $U_{xx}=U_{tx}+U_{dx}$ , где  $U_{tx}$  — напряжение во вторичной обмотке трансформатора, В;  $U_{dx}$  — напряжение в обмотке дросселя, В.

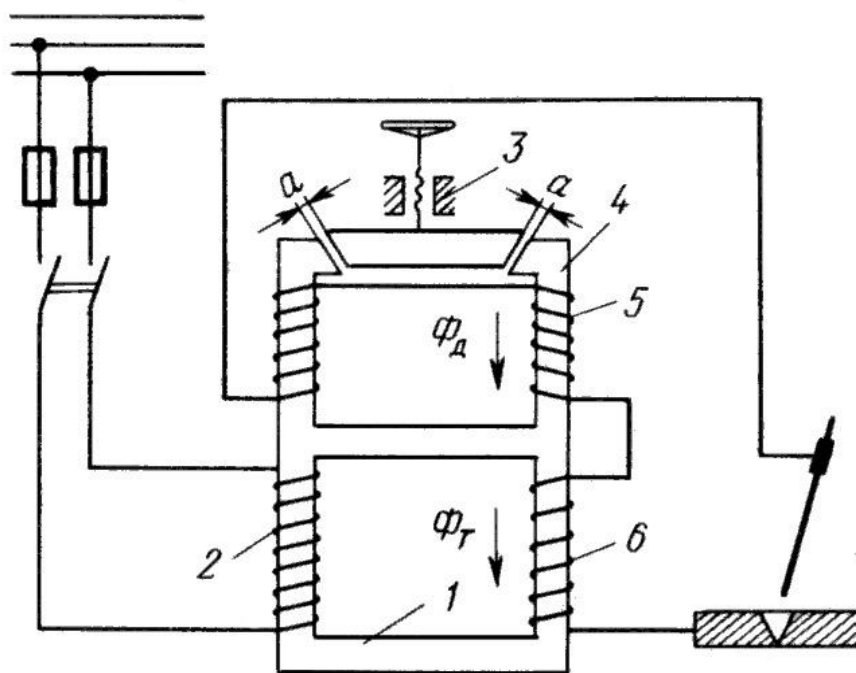


Рис. 2.16. Схема сварочного аппарата со встроенным дросселем

При попутном включении магнитные потоки  $\Phi_t$  и  $\Phi_d$  будут иметь одинаковое направление и напряжение холостого хода  $U_{xx} = U_{tx} - U_{dx}$ . Регулирование сварочного тока производится изменением воздушного зазора  $a$  (чем больше зазор, тем больше сварочный ток).

Сварочные аппараты с увеличенным магнитным рассеянием делятся на две группы: с подвижными обмотками и с магнитным шунтом.

У обычных силовых трансформаторов (рис. 2.17, а) первичная 1 и вторичная 2 обмотки максимально сближены, потоки рассеяния минимальные и поэтому внешняя характеристика жесткая. У трансформаторов сварочных аппаратов с увеличенным магнитным рассеянием (рис. 2.17, б) первичная 1 и вторичная 2 обмотки разведены, потоки рассеяния большие, а внешняя характеристика падающая. Сварочный трансформатор с подвижными обмотками имеет магнитопровод, на обоих стержнях которого расположены по две катушки: одна с первичной обмоткой, а вторая со вторичной обмоткой. Катушки первичной обмотки закреплены неподвижно в нижней части сердечника, катушки вторичной обмотки перемещаются по стержням с помощью винтовой пары. Сварочный ток регулируют изменением расстояния между первичными и вторичными обмотками. При увеличении этого расстояния магнитный поток рассеяния возрастает, а сварочный ток уменьшается. По этому принципу изготовлены сварочные аппараты типа ТС, ТСК, ТД с алюминиевыми обмотками.

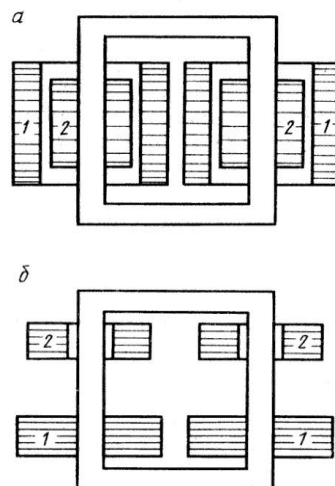


Рис. 2.17. Сварочные трансформаторы

Сварочные аппараты типа ТСК имеют конденсаторы, которые включены параллельно первичным обмоткам. Они способствуют повышению коэффициента мощности. Трансформатор типа ТД имеет два диапазона сварочных токов: большие токи – при параллельных соединениях (рис. 2.18, а) катушек первичной (ОП) и вторичной (ОВ) обмоток, и малые токи – при последовательных соединениях обмоток (рис. 2.18, б). При этом небольшая часть первичной обмотки отключается, и этим повышают напряжение холостого хода, что обеспечивает устойчивое зажигание и горение дуги при малых токах. Переключение обмоток производится одновременно пакетным переключателем (ПД). В каждом диапазоне сварочный ток плавно регулируют, изменяя расстояние между катушками первичной и вторичной обмоток. Внешняя характеристика трансформатора ТД представлена на рисунке 2.18, в (диапазон малых токов – 2, 4; диапазон больших токов – 1, 3).

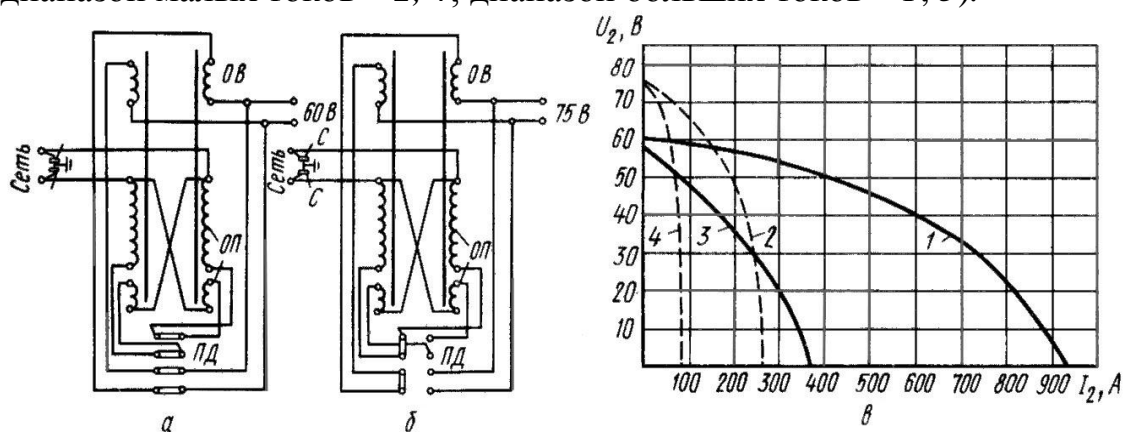


Рис. 2.18. Сварочный трансформатор типа ТД

Для автоматической дуговой сварки под флюсом получили широкое распространение *трансформаторы с управляемым магнитным шунтом*. Принцип действия основан на создании повышенных магнитных полей рассеяния при изменении магнитного насыщения управляемого шунта. Шунт имеет обмотку управления, которую подключают к источнику постоянного напряжения. Промышленность выпускает стабилизированные сварочные трансформаторы с управляемым шунтом типа ТДФ, состоящие из трансформатора, регулятора тока и блока защитной и вспомогательной аппаратуры. Трансформатор имеет магнитопровод стержневого типа. Первичная обмотка имеет две секции и расположена на стержнях в нижней части магнитопровода; вторичная обмотка – многосекционная. Основные ее части расположены на стержнях в верхней части магнитопровода, а дополнительные секции с меньшим числом витков размещены совместно с первичной обмоткой на стержнях в нижней части магнитопровода. Такое расположение вторичной обмотки обеспечивает хорошее качество при переключении ступеней сварочного тока и получение крутопадающей внешней характеристики. Переход от ступени малых токов на ступень больших токов выполняется пакетным выключателем. Магнитный шунт с четырьмя обмотками управления расположен в центре между первичной и вторичной обмотками.

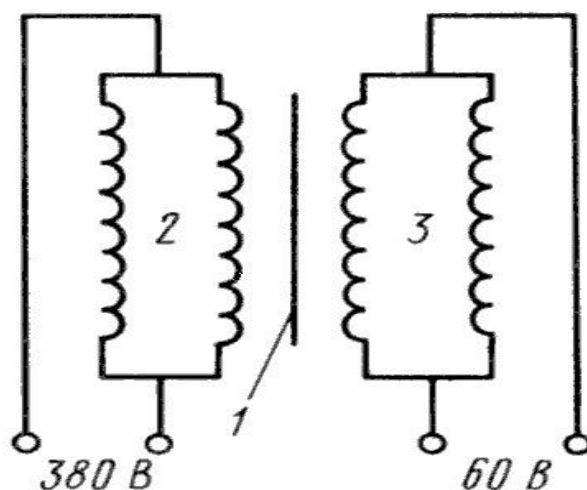


Рис. 2.19. Сварочный аппарат с увеличенным магнитным рассеянием и подвижным магнитным шунтом

Сварочные аппараты с увеличенным магнитным рассеянием и подвижным магнитным шунтом (рис. 2.19) имеют целый замкнутый магнитопровод, на стержнях которого расположены первичная 2 и вторичная 3 обмотки. Катушки первичной обмотки неподвижно закреплены у нижнего ярма, катушки вторичной обмотки – у верхнего ярма магнито-



провода трансформатора. Между ними находится стержень – магнитный шунт 1. Шунт замыкает магнитные потоки, создаваемые первичной и вторичной обмотками. При этом образуются магнитные потоки рассеяния, которые создают значительное индуктивное сопротивление. Таким образом, обеспечивается падающая внешняя характеристика трансформатора. Регулирование сварочного тока производится перемещением магнитного шунта вдоль направления магнитного потока. При выдвижении шунта рассеяние магнитных потоков первичной и вторичной обмоток уменьшается, вследствие чего уменьшается индуктивное сопротивление трансформатора. При этом сварочный ток возрастает. По этому принципу работают сварочные аппараты типов СТАН и СТШ.

Сварочные аппараты типа СТШ имеют магнитный шунт, состоящий из двух половин, которые могут сдвигаться и раздвигаться. Положение частей шунта изменяют ходовым винтом с рукояткой и гайками, вмонтированными в шунты (одна с левой, другая с правой резьбой). При вращении винта по часовой стрелке половины шунта раздвигаются, против часовой стрелки – сдвигаются. При полностью сдвинутых половинах шунта сварочный ток будет минимальный. Если раздвигать половины шунта, то магнитный поток рассеяния уменьшается и поэтому сварочный ток возрастает. Магнитопровод трансформатора и магнитный шунт набраны из листовой электротехнической стали толщиной 0,5 мм, обмотки трансформатора – из алюминия и армированы на концах медью. Трансформатор установлен на тележке. Зажимы для подключения сетевого напряжения расположены на левой боковой стенке кожуха, а зажимы для сварочных проводов – на правой; на передней стенке кожуха – рукоятка регулятора тока и токоуказатель. В строительстве и промышленности применяют сварочные аппараты типов СТШ-300, СТШ-500 и СТШ-500-80. Аппарат СТШ-500-80 (рис. 2.20, а, б) отличается от первых двух типов тем, что имеет два диапазона сварочных токов. Катушки обмоток могут переключаться с последовательного соединения (рис. 2.20, а) для малых сварочных токов на параллельное соединение (рис. 2.20, б) для больших сварочных токов. Он имеет повышенное напряжение холостого хода 80 В. Рабочее напряжение при параллельном соединении обмоток составляет 25 В, а при последовательном – 50 В. Трансформатор имеет устройство, отключающее первичную обмотку от сети через 0,5...1 с после прекращения сварки. В монтажных условиях применяют аппараты легкого типа СТШ-250 массой 44 кг.

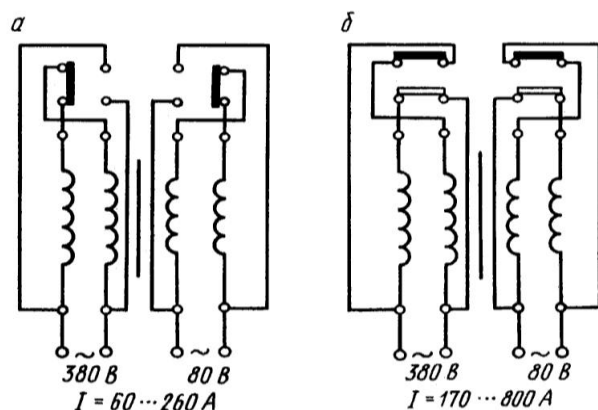


Рис. 2.20. Сварочные трансформаторы с магнитным шунтом

В некоторых случаях для повышения устойчивости горения дуги, питаемой переменным током, применяют способ наложения на сварочный ток частотой 50 Гц токов высокой частоты (150...500 кГц) и высокого напряжения (1500...6000 В). Такие меры предпринимают при сварке тонкостенных изделий дугой малой мощности и при сварочном токе 20...40 А, а также при сварке в защитных газах, сварке специальных сталей и некоторых цветных металлов.

Для получения токов высокой частоты и высокого напряжения применяют *осцилляторы* (рис. 2.21).

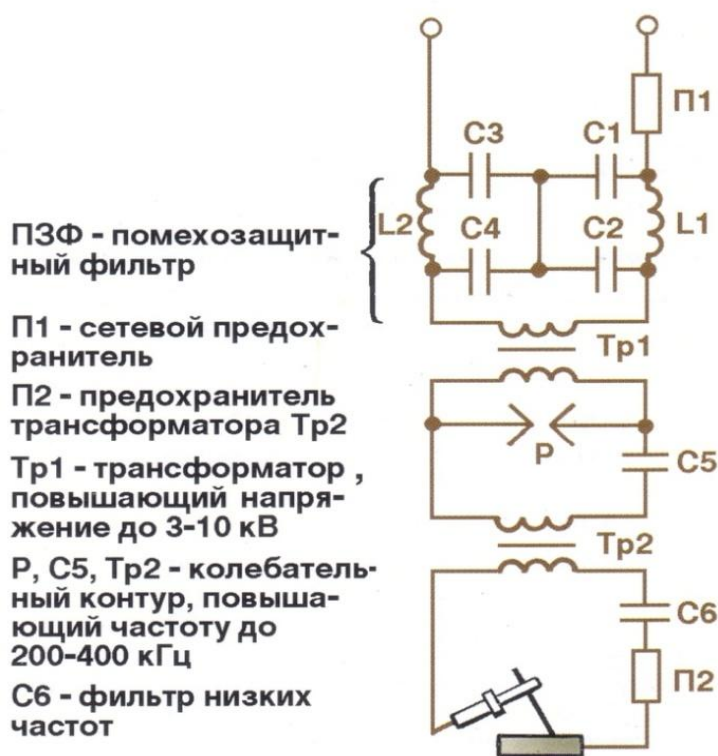


Рис. 2.21. Схема осциллятора

При применении осциллятора дуга загорается легко, даже без прикосновения электрода к изделию (при зазоре 1...2 мм), что объясняется предварительной ионизацией воздушного промежутка между электродом и свариваемой деталью.

#### 2.2.4. СВАРОЧНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

*Сварочные выпрямители* – это статические преобразователи энергии трехфазной сети переменного тока в энергию выпрямленного (пульсирующего постоянного) тока (рис. 2.22).

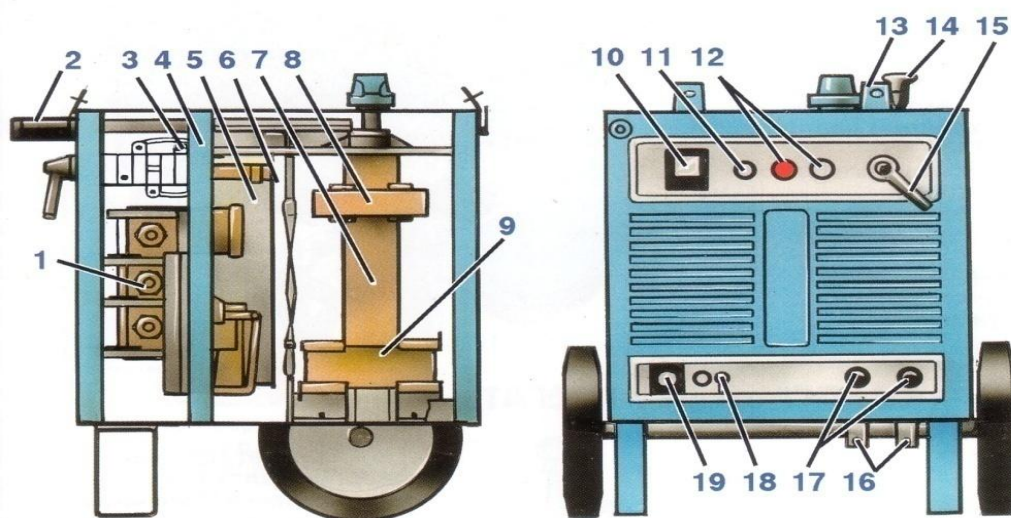


Рис. 2.22. Внешний вид сварочного выпрямителя: 1 – выпрямительный блок; 2 – выдвижные ручки; 3 – предохранители; 4 – блок аппаратуры; 5 – вентилятор; 6 – ветровое реле; 7 – силовой трансформатор; 8 – вторичная обмотка; 9 – первичная обмотка; 10 – амперметр; 11 – лампа; 12 кнопки выключателя; 13 – скобы; 14 – рукоятка регулирования тока; 15 – переключатель диапазона тока; 16 – шины заземления обратного провода; 17 – токовые разъемы; 18 – болт заземления; 19 – штепсельный разъем для подключения к сети

В настоящее время разработаны и выпускаются сварочные выпрямители для ручной или механизированной дуговой сварки под флюсом, сварки в защитных газах и др. Они получили широкое применение благодаря их большим конструктивным и технологическим преимуществам:

- высокий к.п.д. и относительно небольшие потери холостого хода;
- высокие динамические свойства при меньшей электромагнитной индукции;
- отсутствие вращающихся частей и бесшумность в работе;
- равномерность нагрузки фаз;

- небольшая масса.

Однако следует иметь в виду, что для выпрямителей продолжительные короткие замыкания представляют большую опасность, так как могут вывести из строя диоды. Кроме того, они чувствительны к колебаниям напряжения в сети.

Сварочные выпрямители состоят из двух основных блоков: понижающего трехфазного трансформатора с устройствами для регулирования напряжения или тока и выпрямительного блока. Кроме того, выпрямитель имеет пускорегулирующее и защитное устройства, обеспечивающие нормальную его эксплуатацию.

Выпрямление тока производится с помощью свойства полупроводниковых элементов (селеновых или кремниевых вентилей) проводить ток только в одном направлении. Выпрямление тока осуществляется по трехфазной мостовой схеме, состоящей из шести плеч. В каждом плече моста установлены вентили, выпрямляющие оба полупериода переменного тока в трех фазах (рис. 2.23). В каждый момент времени ток проходит через два вентили и, таким образом, в течение одного периода происходит шесть пульсаций выпрямленного тока, что соответствует частоте пульсации 300 Гц. Сварочные выпрямители подразделяются на однопостовые с падающими, жесткими, пологопадающими и универсальными характеристиками и многопостовые с жесткими характеристиками.

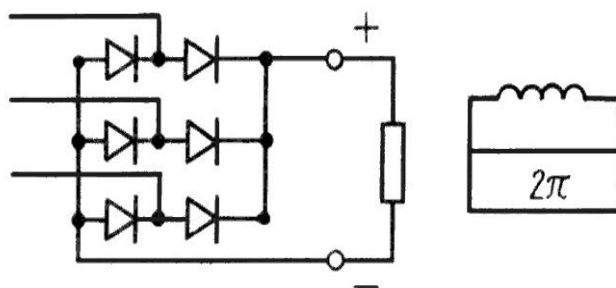


Рис. 2.23. Трехфазная мостовая схема

*Падающая характеристика* в выпрямителе создается включением в сварочную цепь реактивной катушки или применением трансформатора с усиленным магнитным рассеянием. У многопостовых сварочных выпрямителей для создания падающей внешней характеристики и регулирования сварочного тока в сварочную цепь каждого поста включают балластный реостат типа РБ (рис. 2.24).

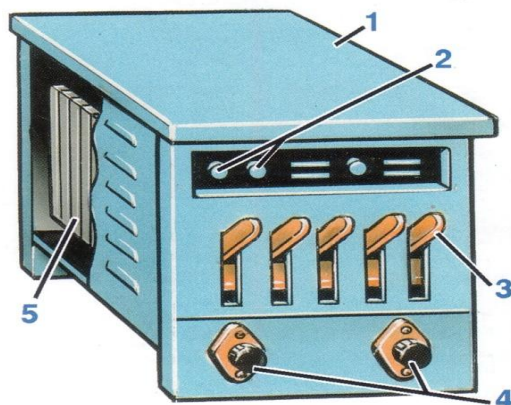


Рис. 2.24. Внешний вид балластного реостата: 1 – корпус; 2 – тумблер диапазонов; 3 – рубильник секций сопротивления; 4 – клеммы сварочного кабеля; 5 – секции нихромовой проволоки или ленты

Выпрямители типа ВД, предназначенные для ручной и механизированной сварки и наплавки, имеют крутопадающую внешнюю характеристику. Регулирование сварочного тока производят ступенчато (два диапазона) и плавно (в пределах каждого диапазона). Переключатель диапазонов сварочного тока расположен на лицевой панели выпрямителя и производит одновременное переключение первичной и вторичной обмоток со «звезды» (диапазон малых токов) на «треугольник» (диапазон больших токов). Переключение производят только после отключения выпрямителя от силовой сети. При переключении со «звезды» на «треугольник» пределы изменения тока увеличиваются примерно в три раза. Плавное регулирование тока в пределах каждого диапазона производится изменением расстояния между катушками первичной и вторичной обмоток. Катушки вторичной обмотки закреплены неподвижно у верхнего ярма, а катушки первичной обмотки с помощью ходового винта перемещаются по стержню сердечника трансформатора. Вращая рукоятку ходового винта по часовой стрелке, сближают катушки обмоток, уменьшают индуктивность рассеяния обмоток и, как следствие, увеличивают сварочный ток.

Сварочные выпрямители с жесткими и пологопадающими внешними характеристиками применяются при сварке плавящимся электродом в углекислом газе, под флюсом, порошковой проволокой. Они различны как конструктивно, так и по электрической схеме. Например, выпрямитель типа ВС состоит из силового трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока из селеновых вентилей.

В сварочную цепь после выпрямительного блока включен дроссель, позволяющий регулировать нарастание тока короткого замыкания и снижающий потери металла на разбрызгивание. Выпрямитель имеет

два переключателя числа витков первичной обмотки трансформатора, которыми путем изменения коэффициента трансформации регулируется выходное напряжение. Один переключатель для ступенчатого регулирования имеет три положения, второй – для плавного регулирования имеет восемь положений. Таким образом, выпрямитель имеет 24 значения сварочного тока. Регулирование сварочного тока можно производить только при холостом ходе, что является серьезным недостатком выпрямителя. В промышленности и строительстве они применяются, но с производства сняты.

Выпрямители типа ВДГ (ВДГ-301, ВДГ-302, ВДГ-303) состоят из трансформатора с нормальным магнитным рассеянием и трехфазного дросселя насыщения. Рабочие обмотки дросселя включены в плечи выпрямительного блока. Регулирование выходного напряжения ступенчато-плавное. Ступенчатое регулирование задает три диапазона, получаемые изменением коэффициента трансформации силового трансформатора изменением числа витков первичной обмотки. Плавное регулирование в пределах каждого диапазона осуществляется дросселем насыщения. Выпрямитель имеет дистанционное управление.

Выпрямители типа ВСЖ (ВСЖ-303) имеют силовой трехфазный трансформатор с магнитной системой особой конструкции, которая позволяет путем изменения магнитной проводимости частей магнитопровода трансформатора регулировать выходное напряжение выпрямителя. Вторичная обмотка трансформатора имеет отводы для ступенчатого регулирования выходного напряжения (три диапазона). Переключение производят поворотом переключателя, установленного на передней стенке кожуха.

В пределах каждого диапазона плавное регулирование напряжения осуществляется потенциометром, рукоятка которого вынесена на панель управления. Для уменьшения разбрызгивания расплавленного металла в сварочную цепь включают линейный дроссель. Выпрямитель обладает более плавной регулировкой напряжения холостого хода, независимостью процесса сварки от колебаний напряжения в силовой сети и высокими технико-экономическими показателями.

*Многопостовые сварочные выпрямители* типа ВДМ выпускают серийно на номинальные токи 1000, 1600, 3000 А. Выпрямители имеют жесткую внешнюю характеристику и состоят из силового трехфазного понижающего трансформатора, выпрямительного блока из кремниевых вентилей с вентилятором, пускорегулирующей и защитной аппаратуры. Получение падающей внешней характеристики и регулирование сварочного тока каждого поста производится подключением балластных реостатов типа РБ-301 (соответственно 6, 9, 18 шт.), которые входят в

комплект выпрямителя.

*Сварочные выпрямители типов ВСУ и ВДУ* являются универсальными источниками питания дуги. Они предназначены для питания дуги при автоматической и механизированной сварке под флюсом, в защитных газах, порошковой проволокой, а также при ручной сварке. Выпрямители ВСУ, кроме обычного блока трехфазного понижающего трансформатора и выпрямительного блока имеют дроссель насыщения с четырьмя обмотками. Переключением этих обмоток можно получать жесткую, пологопадающую и крутопадающую внешние характеристики. Выпрямители ВДУ основаны на использовании в выпрямляющих силовых обмотках управляемых вентилей–тиристоров. Схема управления тиристорами позволяет получать необходимый для сварки вид внешней характеристики, обеспечивает широкий диапазон регулирования сварочного тока и стабилизацию режима сварки при колебаниях напряжения питающей сети.

Технические данные некоторых сварочных выпрямителей приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

*Сварочные выпрямители*

Название	Технические характеристики							
Модель	Напряжение питающей сети, В	Номинальный сварочный ток, А, (ПВ %)	Потребляемая мощность, кВА	Напряжение холостого хода, В	Пределы регулирования сварочного тока, А	Габариты, мм	Вес, кг	Диаметр используемых электродов / св. проволоки, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВДМ-6304 УЗ	3*380/50	630	50	70	-	1100*620*850	280	-
ВДМ-1203 УЗ	3*380/50	1250	96	70	-	1100*620*850	350	-
ВД-165	220	160 (ПН 20 %)	-	65	70–160	345*215*370	28	-
ВД-201	220/380	200 (ПН 20 %)	-	65	60–200	260*390*450	32	-
ВД-205 Шайтан	220	200 (ПН 20 %)	-	55	30–200	320*410*420	52	-
ВД-210	220/380	200 (ПН 20 %)	-	65	60–200	415*300*425	50	-
ВД-250 Ш	380/220	250 (ПН 40 %)	-	65	40–250	350*400*450	64	-

Продолжение табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВД-305 Шай-тан	380	300 (ПН 40 %)	-	65	40–300	445*485*645	78	-
ВД-306 Ш	380/220	300 (ПН 40 %)	-	65	60–300	460*350*600	70	
ВД-306 ДУ	380	300 (ПН 60 %)	-	90	30–300	480*630*630	169	-
ВДУ–506 П	380	500 (ПН 60 %)	-	90	40–500	500*660*720	210	-
ВДМ–350*2	380	2*350 (ПН 60 %)	-	90	40–350	590*600*660	262	-
ВДУ–250	380	250 (ПН 60 %)	-	95	30–250	500*600*655	120	-
ВД–121 УЗ (ЗАО «Икра»)	1*220	125 (ПН 20 %)	7,5	50	40–125	480*220*340	27	2–3
ВД–201 УЗ (ЗАО «Икра»)	3*380/ 3*220	200 (ПН 60 %)	14,3	70	30–200	550*890*730	114	1,6–5
ВД–306 УЗ (ЗАО «Икра»)	3*380/ 3*220	315 (ПН 40 %)	23	70	50–325	550*890*730	124	2,5–6,5
ВДУ–506 УЗ (ЗАО «Икра»)	3*380	500 (ПН 100%)	23	68	95–615	550*840*730	210	3–10
ВД–131 (ООО «ИТС– Краснярск»)	220/380	130 (20 %), 180 (20 %)	12,5	100/ 70	35–130/ 38–180	360*360*940	60	-
ВД–309 (ООО «ИТС– Красноярск»)	3*380	300 (25 %)	21	72	60–300	710*440*550	86	-
ВД–413 (ООО «ИТС– Красноярск»)	3*380	400 (60 %)	32	90	45–500	770*400*770	125	-
ВС–600С (ООО «ИТС– Красноярск»)	3*380	630 (100 %)	47	65	100– 700	600*850*8775	250	-
ВДГ–303–3 (ООО «ИТС– Красноярск»)	3*380	315 (60 %)	21	60	40–325	735*605*750	171	-
ВДУ-630 (ООО «ИТС- Красноярск»)	3*380	630 (100%)	40	60	80–800	580*700*1100	320	-
ВДУ-800 (ООО «ИТС- Красноярск»)	3*380	800 (100 %)	50	55	120– 1000	580*700*1100	370	-
ВДУ-1250 (ООО «ИТС- Красноярск»)	3*380	1250 (100 %)	73	55	250– 1250	600*790*1410	520	-



Окончание табл. 2.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВДУ-1601 (ООО «ИТС– Красноярск»)	3*380	1600 (100 %)	132	85	250– 1600	680*1160*1025	660	-
1800HP «Pilot»	380	140 (ПВ 60 %)	-	-	-	-	20	-

### 2.2.5. СВАРОЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Сварочные преобразователи подразделяют на следующие группы:

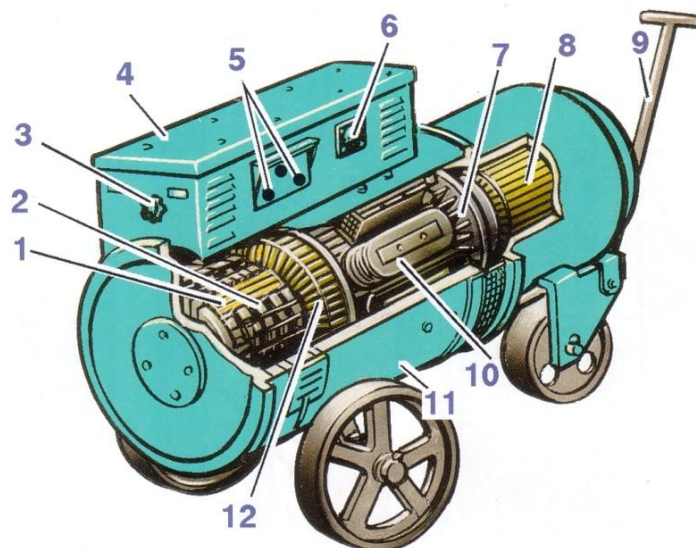
- по количеству одновременно подключенных постов:
  - а) однопостовые, предназначенные для питания одной сварочной дуги;
  - б) многопостовые, питающие одновременно несколько сварочных дуг;
- по способу установки:
  - а) стационарные, устанавливаемые неподвижно на фундаментах;
  - б) передвижные, монтируемые на тележках;
- по роду двигателей, приводящих генератор во вращение:
  - а) машины с электрическим приводом;
  - б) машины с двигателем внутреннего сгорания (бензиновым или дизельным);
- по способу выполнения:
  - а) однокорпусные, в которых генератор и двигатель вмонтированы в единый корпус;
  - б) отдельные, в которых генератор и двигатель установлены в единой рамке, а привод осуществляется через специальную соединительную муфту.

*Однопостовые сварочные преобразователи* (рис. 2.25) состоят из генератора и электродвигателя или двигателя внутреннего сгорания. Сварочные генераторы изготавливают по электромагнитным схемам, которые обеспечивают падающую внешнюю характеристику и ограничение тока короткого замыкания.

*Сварочные генераторы.* Это специальные генераторы постоянного тока, внешняя характеристика которых позволяет получать устойчивое горение дуги, что достигается изменением магнитного потока генератора в зависимости от сварочного тока. Сварочный генератор постоянного тока состоит из статора с магнитными полюсами и якоря с обмоткой и коллекторами. При работе генератора якорь вращается в магнитном поле, создаваемом полюсами статора. Обмотка якоря пересекает магнитные линии полюсов генератора, и поэтому в витках обмотки возникает

переменный ток, который с помощью коллектора преобразуется в постоянный. Вращение якоря сварочного генератора обеспечивается в сварочных преобразователях электродвигателем, а в сварочных агрегатах – двигателем внутреннего сгорания. К коллектору прижаты угольные щетки, через которые постоянный ток подводится к зажимам.

К этим зажимам присоединяют сварочные провода, идущие к электрододержателю и изделию.



*Рис. 2.25. Внешний вид сварочного преобразователя:  
 1 – медные пластинки корректора; 2 – щетки генератора;  
 3 – регулировочный реостат; 4 – распределительное устройство;  
 5 – зажимы; 6 – вольтметр; 7 – вентилятор;  
 8 – трехфазный асинхронный двигатель; 9 – тяга;  
 10 – магнитные полюсы; 11 – корпус; 12 – якорь*

Сварочные генераторы выполняют по различным электрическим схемам. Они могут быть с падающей характеристикой (генераторы типа ГСО в преобразователях типа ПСО-300, ПСО-500 и др.), с жесткой и пологопадающей характеристикой (типа ГСГ в преобразователях типа ПСГ-500) и универсальные (преобразователи типа ПСУ-300, ПС-500).

Наибольшее распространение получили сварочные генераторы с падающими внешними характеристиками, работающие по следующим схемам:

- с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой;
- с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой.

Схема генератора с независимым возбуждением и размагничи-

вающей последовательной обмоткой показана на рисунке 2.26, а. Генератор имеет обмотку независимого возбуждения  $HO$ , питаемую от отдельного источника постоянного тока, и последовательную размагничивающую обмотку  $PO$ , включенную в сварочную цепь последовательно с обмоткой якоря. Ток в цепи независимого возбуждения регулируется реостатом  $P$ . Магнитный поток  $\Phi_n$ , создаваемый обмоткой независимого возбуждения  $HO$ , противоположен по своему направлению магнитному потоку  $\Phi_p$ , создаваемому размагничивающей обмоткой  $PO$ . Результирующий поток представляет разность потоков  $\Phi_{рез} = \Phi_n - \Phi_p$ .

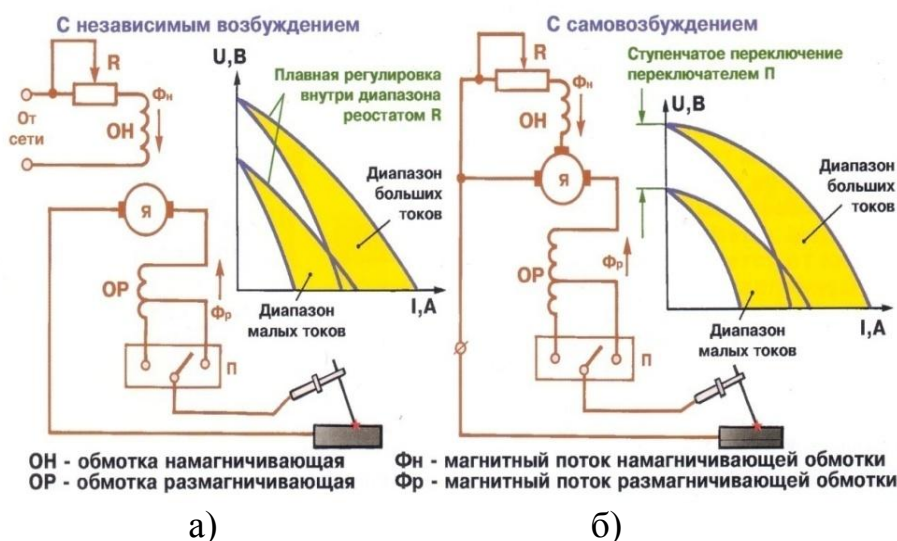


Рис. 2.26. Принципиальная схема сварочного генератора:   
 а – с независимым возбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой, б – с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой

С увеличением тока в сварочной цепи будет увеличиваться  $\Phi_p$ , а  $\Phi_n$  остается неизменным, результирующий поток  $\Phi_{рез}$ , э.д.с. и напряжение на зажимах генератора будут падать, создавая падающую внешнюю характеристику генератора. Сварочный ток в генераторах этой системы регулируется реостатом  $P$  и секционированием последовательной обмотки, т. е. изменением числа ампер-витков.

В генераторах с самовозбуждением и размагничивающей последовательной обмоткой возбуждения (рис. 2.26, б) используется принцип самовозбуждения. Напряжение на намагничивающую обмотку возбуждения  $HO$  снимается со щеток и с самого генератора, это напряжение почти постоянно по величине, поэтому магнитный поток  $\Phi_n$  практически не меняется.

Краткая характеристика сварочных преобразователей представлена в таблице 2.3.

Таблица 2.3

*Краткая характеристика сварочных преобразователей*

Марка преобразователя	Марка генератора	Напряжение, В		Пределы регулирования сварочного тока, А	Потребная мощность, кВт	Масса, кг
		холостого хода	рабочее			
ПСО-300-2	ГСО-300	90	32	115...315	13	435
ПСО-315М	ГСО-300	90	32	115...315	13	393
ПСО-500	ГСО-500	80	40	120...600	28	960
ПД-305	ГД-312	90	32	40...350	10,4	310
ПД-501	ГСО-500	90	40	125...600	28	545

Для выполнения сварочных работ при отсутствии электроэнергии (на новостройках, на монтажных работах в полевых условиях, при сварке газонефтепроводов, при установке мачт электропередач высокого напряжения и других работах) применяют подвижные сварочные агрегаты (рис. 2.27), состоящие из сварочного генератора и двигателя внутреннего сгорания.

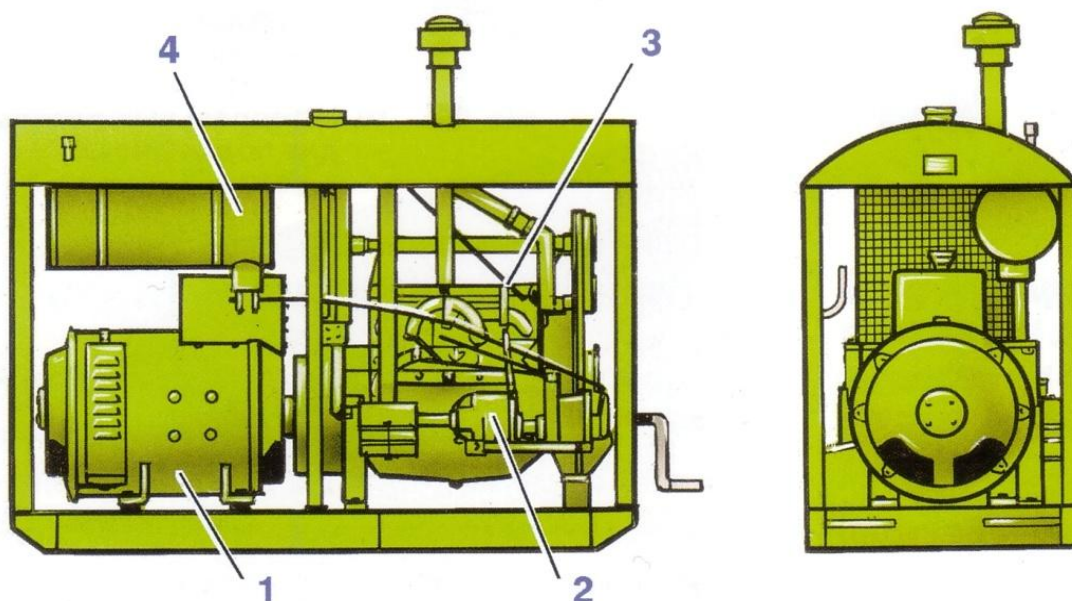


Рис. 2.27. Внешний вид сварочного агрегата: 1 – генератор; 2 – двигатель; 3 – регулятор скорости вращения; 4 – бак с горючим

Краткая техническая характеристика сварочных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания представлена в таблице 2.4.

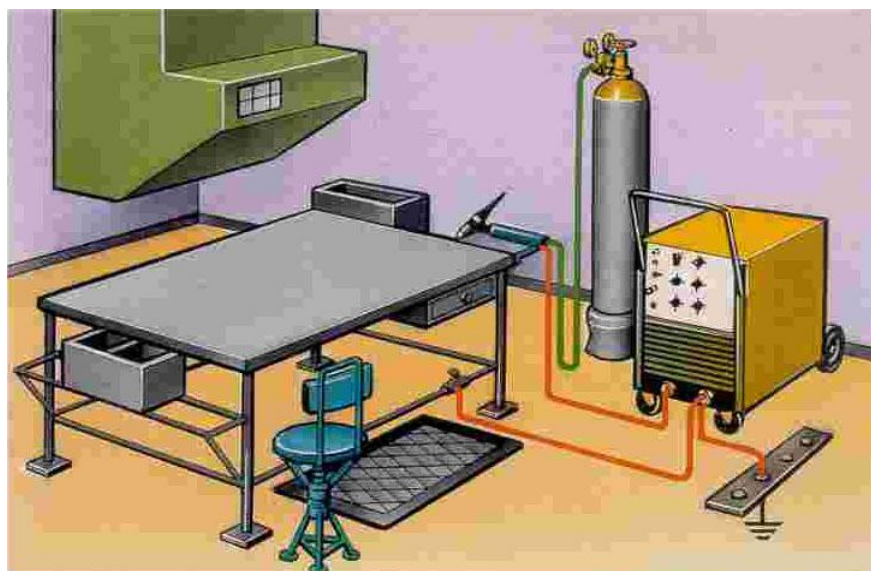
Таблица 2.4

*Краткая техническая характеристика сварочных агрегатов  
с двигателями внутреннего сгорания*

Марка агрегата	Напряжение, В		Пределы регулирования сварочного тока, А	Потребная мощность, кВт·А	Масса, кг
	холостого хода	рабочее			
АДБ-3122	100	32,6	15...350	29	720
АСД-300М	100	32,6	100...315	15	920
АДД-303	100	32,0	100...315	15	940
АДД-3114	95	32,6	15...350	19	750
АДД-4001	100	36	50...450	37	855
ПАС-400-VIII	90	40	120...600	44	1900

### 2.2.6. МОНТАЖ И ОБСЛУЖИВАНИЕ СВАРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Сварочный пост дуговой сварки* (рис. 2.28) – место производства сварочных работ – оснащается в зависимости от вида сварочных работ, выбранной технологии сварки и ряда других факторов.



*Рис. 2.28. Общий вид сварочного поста*

На заводах, как правило, сварочные посты (рис. 2.29) располагаются в специальных кабинах площадью не менее  $2 \times 3 \text{ м}^2$  каждая. Кабину отгораживают перегородками, а вход закрывают занавесками, пропитанными огнестойким составом. При сварке громоздких деталей и крупногабаритных сварных конструкций сварочные посты разворачивают открыто в цехе, на монтажно-строительной площадке, на магистральной трассе. При этом рабочее место по возможности огораживают защитными щитами или ширмами.



Основное оборудование сварочного поста состоит из источника питания дуги, сварочных проводов, электрододержателя и различных приспособлений, необходимых для закрепления свариваемых деталей. При размещении поста в кабине устанавливают металлический стол с массивной чугунной или стальной крышкой площадью в  $1 \text{ м}^2$ , на которой производят сварочные работы, и винтовой стул с откидной спинкой. Кабина должна иметь местную вытяжную вентиляцию и заземляющий провод. В условиях строительной-монтажной площадки при отсутствии заземляющей шины или иного заземляющего устройства применяют искусственное заземление.

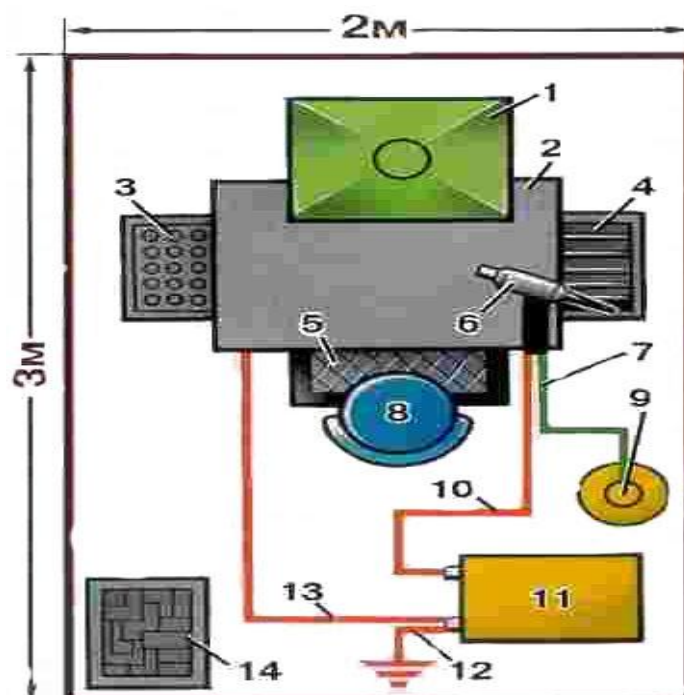


Рис. 2.29. План схема рабочего места сварщика: 1 – вентиляция; 2 – рабочий стол; 3 – ящик для электродов; 4 – ящик для деталей; 5 – диэлектрический коврик; 6 – горелка; 7 – газовый рукав; 8 – стул; 9 – газовый баллон; 10 – прямой провод; 11 – источник питания дуги; 12 – заземление; 13 – обратный провод; 14 – ящик для отходов

Принадлежности и инструмент сварщика.

1. Электрододержатель служит для зажима электрода и подвода к нему сварочного тока. Он должен прочно удерживать электрод, обеспечивать удобное и прочное закрепление сварочного кабеля, а также быстрое удаление огарков и закладку нового электрода. Электрододержатели изготавливают трех типов по ГОСТ 14651-78: для тока 125 А и провода сечением  $25 \text{ мм}^2$ , для тока 315 А и провода сечением  $50 \text{ мм}^2$ , для тока 500 А и провода сечением  $70 \text{ мм}^2$ . Они должны выдерживать

8000 зажимов электродов, затрачивая на каждую замену электрода не более 4 с. Применяют электрододержатели с различными способами закрепления электродов. На рисунке 2.30 показано несколько видов электрододержателей.



Рис. 2.30. Виды электрододержателей

2. Щитки (рис. 2.31, а), маски (рис. 2.31, б) или шлемы (рис. 2.31, в) служат для защиты глаз и лица сварщика от воздействия излучений сварочной дуги и брызг металла. В них имеется смотровое отверстие, в которое вставляют специальное стекло – светофильтр, задерживающий инфракрасные и ультрафиолетовые лучи и снижающий яркость световых лучей дуги. Снаружи светофильтр защищен от брызг металла простым прозрачным стеклом.

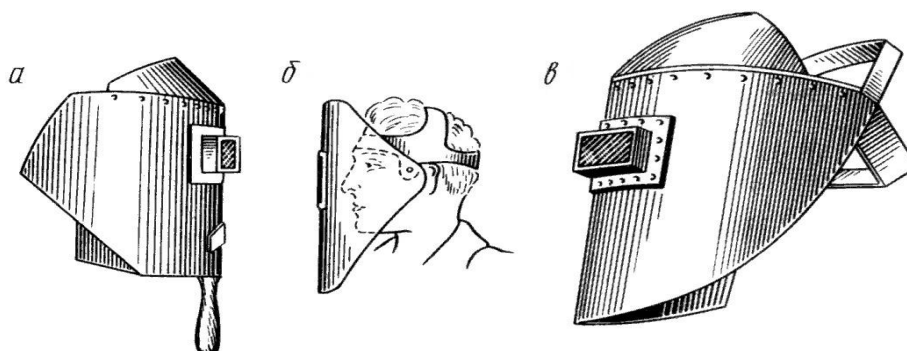


Рис. 2.31. Защитные средства глаз и лица сварщика

3. Металлические щетки (ручные и с электроприводом) для зачистки (разделки) швов и очистки сваренных швов от шлака.

4. Молоток, зубило, крепежный инструмент.

5. Набор шаблонов для промера размеров швов.

6. Стальные клейма для клеймения сваренных швов.

**Индивидуальные защитные средства сварщика.** Для защиты тела от ожогов сварщик пользуется брезентовым костюмом, брезентовыми рукавицами и кожаной или валяной обувью. Брюки должны быть гладкими без отворотов с напуском поверх ботинок или валенок. Рукавицы должны одеваться с напуском на рукава и завязываться тесьмой. Прямая одежда и отсутствие открытых частей тела исключают возможность попадания брызг металла на тело и в складки спецодежды.

При сварке внутри резервуаров, баков, цистерн необходимо пользоваться резиновыми сапогами и резиновым шлемом. При сварке металлических конструкций, если сварщик работает лежа, сидя или стоя на элементах свариваемой конструкции, кроме резиновых сапог (или галош) и шлема необходимы резиновые коврики, а также наколенники, подлокотники, подшитые войлоком. Кроме спецодежды, к средствам индивидуальной защиты сварщика относится пояс предохранительный с лямками (при работе на высоте), перчатки резиновые диэлектрические, галоши резиновые диэлектрические, коврики резиновые диэлектрические.

Источники питания дуги размещают непосредственно на каждом месте или группируют в машинном отделении сварочного цеха. В последнем случае в цехе на определенном расстоянии друг от друга располагают постоянные щитки с клеммами для подключения сварочных проводов. К щиткам ток подводится от источника питания постоянной проводкой. При наличии нескольких сварочных постов следует применять многопостовые сварочные агрегаты, имеющие более высокий коэффициент использования и мощности. Они более удобны по условиям ухода и обслуживания.

При наличии на строительно-монтажной площадке электросиловой сети для выполнения сварочных работ применяют передвижные сварочные преобразователи постоянного тока, выпрямители или аппараты переменного тока в зависимости от вида работ.

При отсутствии электросиловой сети (при монтаже мачт высоковольтных линий, прокладке магистральных трубопроводов и других работах) применяют сварочные агрегаты с двигателем внутреннего сгорания типов АСБ, АСД, ПАС, СДУ. В процессе эксплуатации источники сварочного тока требуют внимательного ухода и обслуживания. Это гарантирует их длительную и надежную работу. Перед включением источника тока необходимо выполнить следующие работы: очистить его от пыли и грязи, осмотреть и при наличии мелких дефектов устранить их. У сварочных преобразователей особое внимание следует обратить на подшипники, коллектор и щеточный механизм генератора. Щетки должны плотно прилегать к чистой поверхности коллектора. У аппаратов переменного тока следует проверить состояние контактов, изоляции и крепежных деталей сердечника и кожуха. Необходимо чаще смазывать регулировочный механизм. У сварочных выпрямителей особого внимания требует система охлаждения. Следует проверить подтяжку крепежных деталей, наличие и надежность крепления заземляющего провода, правильно подобрать и надежно присоединить сварочные провода.



### 2.2.7. ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ КАК ЭНЕРГО И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЙ ФАКТОР В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

В настоящее время на всех предприятиях России одна из важнейших проблем – это проблема энерго- и ресурсосбережения. Она связана, в том числе, и со сварочными работами. Современное сварочное оборудование, построенное на базе инверторных источников, в отличие от традиционных диодных выпрямителей, позволяет получить не только качественную сварку, но и существенную экономию электродного металла, за счет снижения величины разбрызгивания, экономию электроэнергии в результате высокого КПД и высокого коэффициента мощности.

Проведенные сравнительные исследования по стабильности процесса сварки, величине потерь на разбрызгивание, величине тепловложения, потреблению электроэнергии позволили сравнить наиболее применяемый источник питания ВД-306 и инверторный источник питания нового поколения Nebula-315. Технические характеристики, которых представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

*Технические показатели источников питания дуговой сварки  
плавлением*

Параметр	ВД-306	Nebula 315
Максимальный ток, А	315	315
Максимальная мощность в нагрузке (P <sub>2</sub> ), кВт	9,77	11,0
КПД, %, не менее	70	90
Потребляемая мощность при максимальной нагрузке, кВА	24	12,5

Стабильность процесса сварки оценивали по осциллограммам тока и напряжения, полученных с помощью регистратора параметров сварки AWR524 (рис. 2.32).

В результате анализа осциллограмм от инвертора и диодного выпрямителя (рисунок 2.32) установлено различие энергетических параметров процесса сварки во время образования и переноса капли электродного металла. При сварке инверторным источником амплитуда тока изменяется в пределах 100...120 А, а при сварке диодным выпрямителем – в пределах 80...140 А при том же значении среднего сварочного тока. Следовательно, изменяется тепловое воздействие дуги на каплю электродного металла.

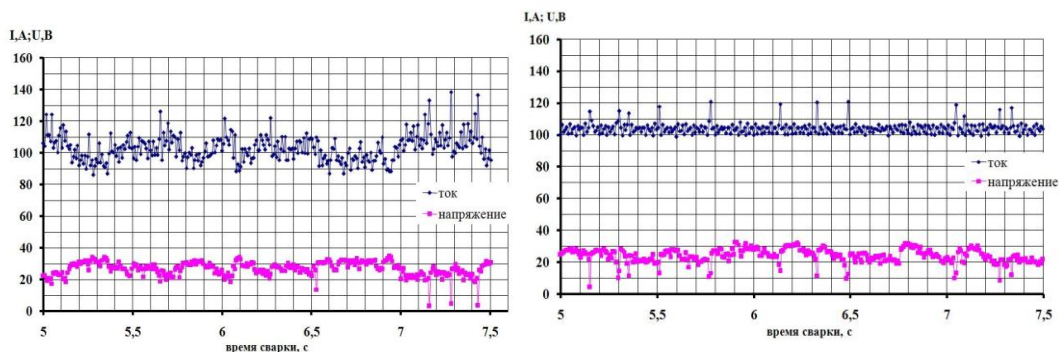


Рис. 2.32. Осциллограммы токов и напряжения (электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм): а – источник питания - электронный инвертор Nebula-315; б – источник питания - диодный выпрямитель ВД-306

Для расчета энергии дуги от различных источников питания, вложенной в каплю электродного металла, использовали осциллограммы тока и напряжения дугового промежутка. По значениям тока и напряжения в ключевых точках провели сравнительный анализ теплового воздействия сварочного тока на каплю электродного металла при сварке от диодного выпрямителя и инвертора. Для расчета теплоты, вводимой в каплю, применили закон Джоуля-Ленца с учетом энергии, переходящей в каплю:

$$Q = 0,24 \cdot I \cdot U \cdot t, \text{ Дж.} \quad (8)$$

Используя данные осциллограмм, расчет введенной теплоты можно провести двумя методами: графоаналитическим и аналитическим.

Графоаналитический метод в качестве исходных данных берет дискретные значения осциллограмм для расчета по уравнению

$$Q = 0,24 \cdot \sum_{n=1}^m I \cdot U \cdot t, \text{ Дж} \quad (9)$$

где  $t$  — число значений.

Для решения задачи этим методом требуется использовать множество значений тока и напряжения во времени.

Аналитический метод учитывает погрешности экспериментального оборудования и пилообразную кривую, отражающую сварочный ток во время образования и перехода капли в сварочную ванну. Изменения тока и напряжения можно представить как линейные и с высокой степенью точности считать отрезками прямой линии. Переломные моменты тока и напряжения синхронизированы во времени. Энергию, затрачиваемую на плавление электродного металла в единицу времени, можно определить по уравнению

$$Q(t) = 0,24 \sum_{i=0}^{i=n} \int_{t_n}^{t_{n+1}} I_n(t) \cdot U_n(t) \cdot t \cdot dt. \quad (10)$$

Расчеты, выполненные аналитическим методом, показывают, что при сварке от инверторного источника питания энергия затрачиваемая на плавление электродного металла за 1 секунду в среднем составляет  $Q_k = 1,0870 \times 10^7$  Дж, а при сварке от диодного выпрямителя –  $Q_k = 1,2061 \times 10^7$  Дж. энергии. Подтверждают расчетные значения и проведенные исследования химического состава сварного шва (таблица 2.26, 2.27). Полученные отличия можно объяснить тем, что тип источника питания ограничивает ток короткого замыкания (рисунок 2.32), в результате этого происходит меньшее выгорание легирующих элементов.

Таблица 2.6

*Химический состав сварного шва выполненного из трубы  $\varnothing 159 \times 6$  (сталь 09Г2С) электродами марки LB 52U*

Тип источника питания	Химический состав, %							
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
ВД-306	0,10	0,52	1,03	0,010	0,014	0,03	0,05	0,03
Nebula-315	0,09	0,60	1,23	0,010	0,014	0,03	0,06	0,03

Таблица 2.7

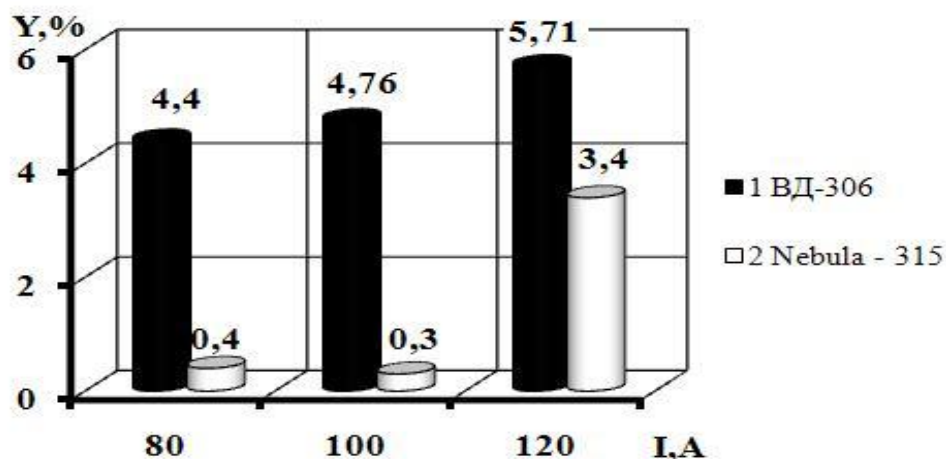
*Химический состав сварного шва выполненного из образцов из стали 45 электродами марки УОНИ 13/55*

Тип источника питания	Химический состав, %						
	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Cu
ВД-306	0,11	0,30	0,92	0,019	0,06	0,05	0,09
Nebula-315	0,12	0,31	1,00	0,02	0,06	0,06	0,10

Стабильность процесса сварки оказывает влияние и на величину разбрызгивания электродного металла. Известно, что чем больше сила тока короткого замыкания, тем больше величина разбрызгивания, то есть если источник питания обеспечивает отношение  $I_{кз}/I_d \rightarrow 1$ , то он обеспечивает меньшую величину разбрызгивания. Для подтверждения этого были проведены исследования, по результатам которых получена зависимость между типом источника питания и величиной потерь на разбрызгивание электродного металла.

Проведенное исследование позволило получить зависимость между типом источника питания и величиной потерь на разбрызгивание элек-

тродного металла. Анализ гистограммы (рисунок 2.33) показывает, что цифровой инверторный источник питания Nebula-315, обеспечивает значительно меньшую величину разбрызгивания (0,3-3,4 %), по сравнению с диодным выпрямителем ВД-306 (4,4-5,71 %), тем самым способствует снижению потерь электродного металла, что приводит к более эффективному использованию покрытых электродов.



*Рис. 2.33. Влияние силы тока на величину разбрызгивание электродного металла при РДС покрытыми электродами марки LB -52U (основное покрытие) диаметром 3,2 мм*

Не маловажным фактором при РДС является ширина зоны термического влияния, где происходят структурные изменения металла под воздействием температур нагрева. Чем меньше ЗТВ, тем выше работоспособность сварного соединения. Как было отмечено выше, источники питания обеспечивают различное вложение тепловой энергии.

Для получения полной картины распределения температурных полей осуществляли ручную дуговую наплавку валика покрытыми электродами марки LB 52U на пластину 100x150 мм толщиной 6 мм из стали Ст3. В качестве источника питания использовался цифровой инвертор Nebula 315 и сварочный выпрямитель ВД 306У3. Регистрацию полей осуществляли с помощью тепловизора ThermoCAM P65HS фирмы FLIR. Съемку проводили на протяжении времени сварки одного прохода с частотой 5 кад/сек. В результате проведения эксперимента и после обработки исходных термограмм в математическом пакете MATLAB в виде набора m-файлов получили изображения температурных полей процесса нагрева (рис. 2.34).

Анализ термограмм (рис. 2.34) температурных полей и макроструктур сварного соединения показал, что при сварке от цифрового инверторного источника, по сравнению с диодным выпрямителем, происхо-

дит уменьшение ширины зоны теплового вложения и ширины ЗТВ на 16–20 % и уменьшение размера зерен в ЗТВ (от крупнозернистой структуры – ВД 306 до мелкозернистой – Nebula 315).

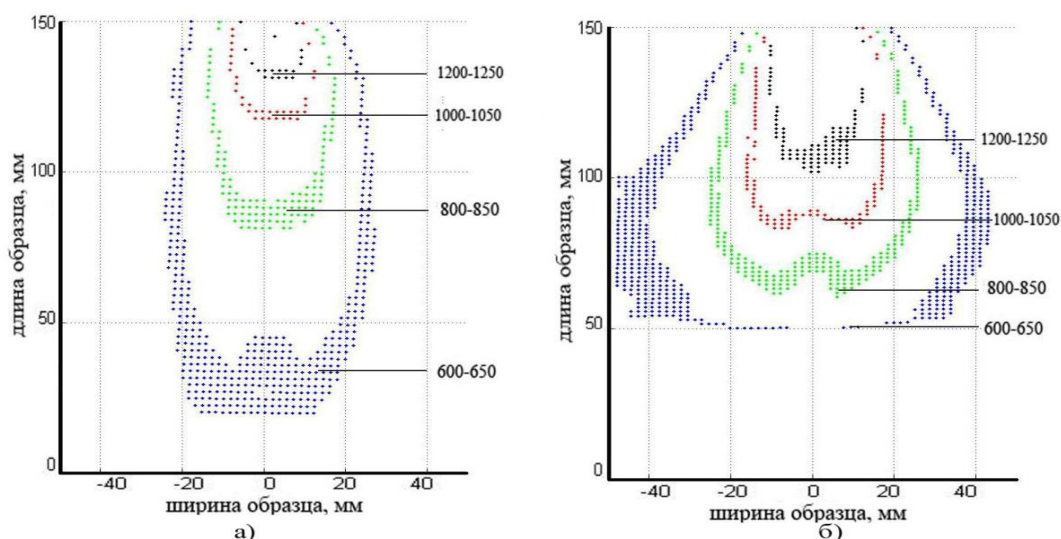


Рис. 2.34. Температурные поля после обработки (сварочный ток 100А, напряжение 25В, скорость сварки 13...14 см/мин): а – инвертор; б – диодный выпрямитель

Для сравнения влияния типа источника питания на механические свойства сварного соединения были проведены исследования, результаты представлены на рис. 2.35–2.37.

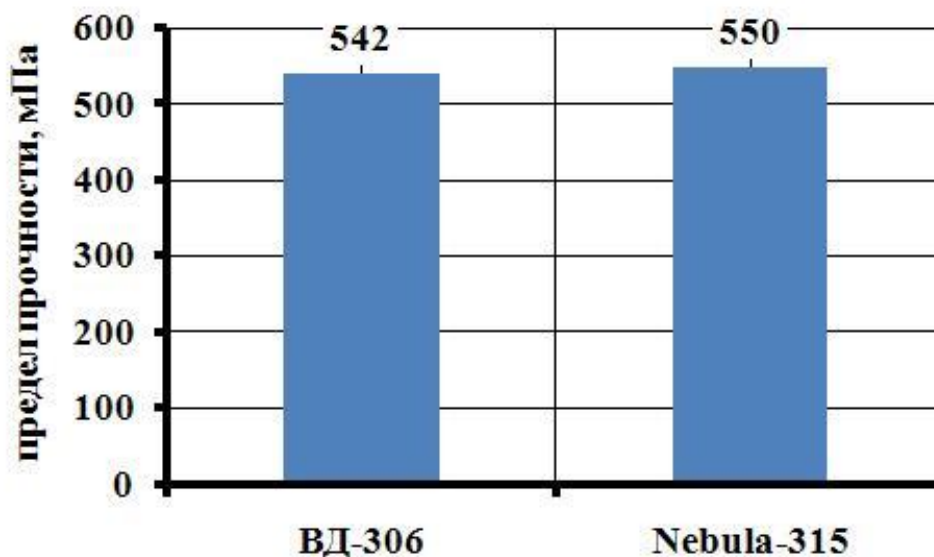


Рис. 2.35. Влияние типа источника питания на предел прочности при растяжении сварных соединений из трубы 159х6 сталь 09Г2С, электроды корень: LB-52U ( $d=2,6$  мм, заполнение: LB-52U ( $d=3,2$  мм)

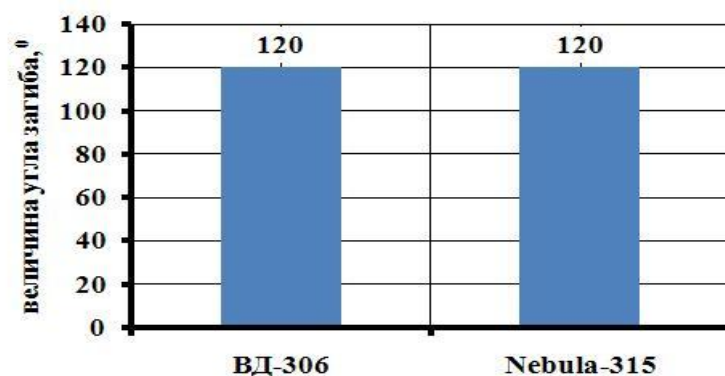


Рис. 2.36. Влияние типа источника питания на величину угла загиба (наружу, вовнутрь и на ребро) сварных соединений из трубы 159х6 сталь 09Г2С, электроды: корень LB-52U ( $d=2,6$  мм); заполнение: LB-52U ( $d=3,2$  мм)

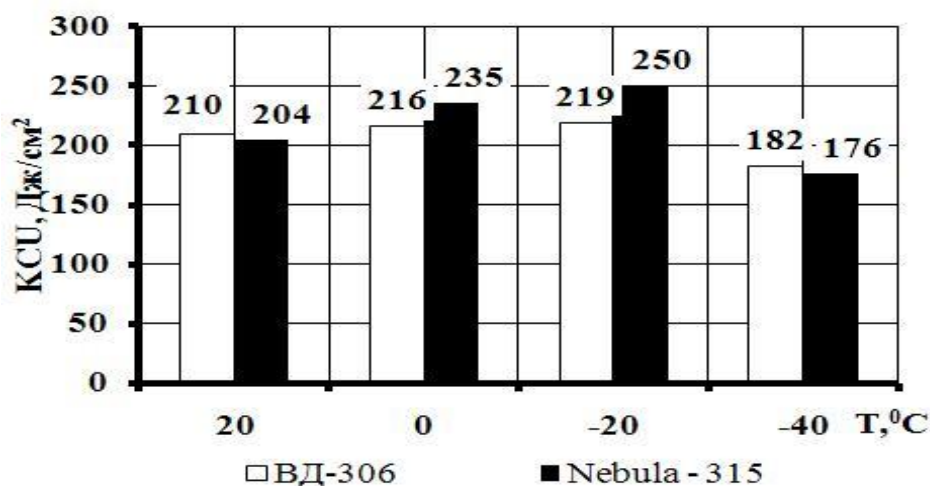


Рис. 2.37. Влияние типа источника питания на ударную вязкость KCU (сталь 09Г2С, электроды марки LB-52U)

Различные технические характеристики источников питания и осциллограммы процессов сварки позволяют предположить и различное потребление электрической энергии. Для проверки этого предположения по известной методике был произведен расчет ориентировочной стоимости электроэнергии потребляемой за год работы на одном сварочном посту в режиме ручной сварки электродом. При расчетах было условно принято количество рабочих дней в году – 248, время непрерывной работы источника – 60 %, что соответствует 1190 часам, а стоимость 1 кВА/час – 2,5 руб.

Получается, что при покупке инверторного источника мы тратим на 35110 руб. больше, но за один год односменной работы мы экономим на электроэнергии 20 538 руб на один пост (см. табл. 2.8.). Количестве же сварочных постов на промышленных предприятиях от 10 до 50 штук

– так что годовая экономия электроэнергии становится довольно ощутимой.

Таблица 2.8

*Экономические показатели источников питания дуговой сварки  
плавлением*

Оборудование	Стоимость, руб	Потребляемая мощность, кВа	Стоимость электроэнергии за 1 год работы, руб
Выпрямитель ВД-306	24890	24	42850
Инвертор Nebula-315	60000	12,5	22312

По результатам проведенных исследований установлено, что сварочные инверторные источники обеспечивают высокое качество сварки (более стабильный процесс, меньшая величина разбрызгивания, уменьшение зоны термического влияния), а это приводит к снижению себестоимости изготовления изделия за счет уменьшения операций по зачистке швов, экономии сварочного материала и экономии электроэнергии. Таким образом, можно утверждать, что источник питания – энерго и ресурсосберегающий фактор в сварочном производстве.

## **2.3. МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ДУГОВОЙ СВАРКЕ ПЛАВЛЕНИЕМ**

### **2.3.1. ПОНЯТИЕ О СВАРИВАЕМОСТИ**

*Свариваемость* – свойство металла или сочетания металлов образовывать при установленной технологии сварки соединение, отвечающее требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия.

Различают физическую и технологическую свариваемость.

*Физическая (принципиальная) свариваемость* – способность данного материала (или разнородных материалов) давать неразъемное соединение путем установления внутренних связей между частицами (атомами, молекулами) соединяемых материалов вне зависимости от способа или технологии сварки, т.е. принципиальную возможность получения сварного соединения.

*Технологическая свариваемость* – способность данного материала (или разнородных материалов) давать при выбранной технологии сварки неразъемное соединение, удовлетворяющее определенным требованиям. Свариваемость данного материала при различных способах свар-

ки может быть различной.

Свариваемость металла зависит от его химических и физических свойств, кристаллической решетки, степени легирования, наличия примесей и других факторов. Основные показатели (критерии) свариваемости металлов и их сплавов:

- окисляемость металла при сварочном нагреве, зависящая от его химической активности;
- чувствительность металла к тепловому воздействию сварки, которая характеризуется склонностью металла к росту зерна, структурными и фазовыми изменениями в шве и зоне термического влияния, изменением прочностных и пластических свойств;
- сопротивляемость образованию горячих трещин;
- сопротивляемость образованию холодных трещин при сварке;
- чувствительность к образованию пор;
- соответствие свойств сварного соединения заданным эксплуатационным требованиям, к таким свойствам относят: прочность, пластичность, выносливость, ползучесть, вязкость, жаростойкость и жаропрочность, коррозионную стойкость и др.

Кроме перечисленных основных показателей свариваемости, имеются еще показатели, от которых зависит качество сварных соединений. К ним относят качество формирования сварного шва, величину собственных напряжений, величину деформаций и коробления свариваемых материалов и изделий.

*Окисляемость* металла при сварке определяется химическими свойствами свариваемого материала. Чем химически активнее металл, тем больше его склонность к окислению и тем выше должно быть качество защиты при сварке. К наиболее активным металлам, легко окисляющимся при сварке, относятся Ti, Zr, Nb, Ta, Mo, W. При их сварке необходимо защищать от взаимодействия с воздухом не только расплавленный металл, но и прилегающий к сварочной ванне основной металл и остывающий шов с наружной стороны.

Высокой химической активностью при сварке отличаются и другие цветные металлы (Al, Mg, Cu, Ni) и сплавы на их основе. Качество их защиты обеспечивается инертными газами, а также специальными электродами покрытиями и флюсами.

При сварке сталей и сплавов на основе железа от взаимодействия с воздухом расплавленный металл защищают покрытиями, флюсами, а также защитными газами.

Чувствительность металла к тепловому воздействию сварки является одним из главных показателей свариваемости. Металл в любой зо-



не сварного соединения испытывает нагрев и последующее охлаждение. Изменение температуры металла во время сварки называется *термическим циклом сварки*. Максимальная температура нагрева в разных зонах соединений различна: в шве максимальная температура превышает, в зоне сплавления – близка, в зоне термического влияния – меньше температуры плавления, постепенно уменьшается по мере удаления от шва.

При нагреве в металле происходят следующие структурные и фазовые превращения:

- растворение фаз в металле в твердом состоянии, например карбидов (соединений металла с углеродом) в нагретом металле;
- полиморфное превращение, т.е. превращение низкотемпературной модификации материала в высокотемпературную;
- плавление металла в участках, нагреваемых выше температуры плавления.

При охлаждении структурные и фазовые превращения идут в обратном порядке:

- кристаллизация;
- полиморфное превращение, т. е. переход из высокотемпературной фазы в низкотемпературную;
- выпадение из металла различных вторичных фаз – карбидов, интерметаллидов и др.

Кроме названных превращений, в металле в низкотемпературной области при сварке происходят структурные изменения, вызывающие разупрочнение основного металла – рекристаллизацию, старение и др.

Как правило, чем выше прочность свариваемого металла и больше степень его легирования, тем чувствительнее материал к термическому циклу сварки и сложнее технология его сварки.

*Чувствительность металла к тепловому воздействию сварки* оценивают по свойствам различных зон соединений и сварных соединений в целом при статических, динамических и вибрационных испытаниях (растяжение, изгиб, определение твердости, определение перехода металла в хрупкое состояние и др.), а также по результатам металлографических исследований в зависимости от применяемых видов и режимов сварки.

*Сопротивляемость металла образованию трещин при сварке.* При сварке могут возникать горячие и холодные трещины в металле шва и в околошовной зоне.

*Горячие трещины* – хрупкие межкристаллические разрушения металла шва и околошовной зоны, возникающие в твердожидком состоя-

нии в процессе кристаллизации, а также при высоких температурах в твердом состоянии.

При кристаллизации жидкий металл шва сначала переходит в жидкотвердое, а затем в твердожидкое и, наконец, в твердое состояние. В твердожидком состоянии образуется скелет из кристаллитов затвердевшего металла (твердой фазы), в промежутках которого находится жидкий металл, который в таком состоянии обладает очень низкой пластичностью и прочностью.

Усадка шва и линейное сокращение нагретого металла в сварном соединении при охлаждении могут привести к образованию горячих трещин. Горячие трещины могут образовываться как вдоль, так и поперек шва (рис. 2.38).

Для оценки свариваемости металлов по сопротивляемости горячим трещинам применяют два основных вида испытаний – сварку технологических проб и машинные способы испытаний.

В технологических пробах сваривают узел или образец заданной жесткости (рис. 2.39). Пригодность материала, электродов, режимов сварки оценивают по появлению трещины и ее длине.

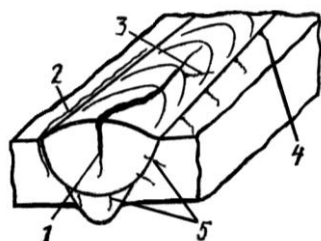


Рис. 2.38. Горячие трещины в сварных соединениях: 1, 2 – продольные; 3, 4 – поперечные в шве и околошовной зоне; 5 – поперечные трещины по толщине свариваемого металла

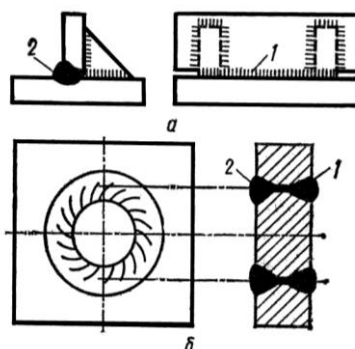


Рис. 2.39. Технологические пробы для определения сопротивляемости сварных соединений образованию горячих трещин: а – тавровая с ребрами жесткости; б – кольцевая

В машинных методах испытаний растягивают или изгибают образец во время сварки. Стойкость материалов оценивают по критической величине или скорости деформирования, при которых возникает трещина. Для предотвращения горячих трещин необходимо правильно выбирать присадочный материал и технологию сварки.

*Холодные трещины* – локальные межкристаллические разрушения, образующиеся в сварных соединениях преимущественно при нормальной температуре, а также при температурах ниже 200 °С. Причины хо-

лодных трещин при сварке:

- охрупчивание металла вследствие закалочных процессов при быстром его охлаждении;
- остаточные напряжения, возникающие в сварных соединениях;
- повышенное содержание водорода в сварных швах, который усиливает неблагоприятное действие первых двух главных причин.

Для оценки свариваемости металлов по сопротивляемости холодным трещинам применяют, как и при оценке сопротивляемости горячим трещинам, два вида испытаний – технологические пробы и методы количественной оценки с приложением к образцам внешней постоянной механической нагрузки.

Преимуществом технологических проб является возможность моделировать технологию сварки и, следовательно, судить о сопротивляемости образованию трещин в условиях, близких к реальным. Проба представляет собой жесткое сварное соединение. Стойкость материала оценивают качественно по наличию или отсутствию трещин.

Пробы дают только качественный ответ: образуется или не образуется трещина.

Количественным критерием оценки сопротивляемости сварного соединения образованию холодных трещин являются минимальные внешние напряжения, при которых начинают возникать холодные трещины при выдержке образцов под нагрузкой, прикладываемой сразу же после сварки. Внешние нагрузки воспроизводят воздействие на металл собственных сварочных и усадочных напряжений, которые постоянно действуют сразу после сварки при хранении и эксплуатации конструкции.

Методы борьбы с холодными трещинами основываются на уменьшении степени подкалки металла, снятии остаточных напряжений, ограничении содержания водорода. Наиболее эффективным средством для этого является подогрев металла перед сваркой.

*Поры* в сварных швах возникают при первичной кристаллизации металла сварочной ванны в результате выделения газов. Поры представляют собой заполненные газом полости в швах, имеющие округлую, вытянутую или более сложные формы. Поры могут располагаться по оси шва, его сечению или вблизи границы сплавления. Они могут выходить или не выходить на поверхность, располагаться цепочкой, отдельными группами или одиночно, могут быть микроскопическими и крупными (до 4–6 мм в поперечнике). Причины возникновения пор:

- выделение водорода, азота и окиси углерода в результате химических реакций;

- различная растворимость газов в расплавленном и твердом металле;
- захват пузырьков газа при кристаллизации сварочной ванны.

Для уменьшения пористости необходима тщательная подготовка основного и присадочного материалов под сварку (очистка от ржавчины, масла, влаги, прокатка и т. д.), надежная защита зоны сварки от воздуха, введение в сварочную ванну элементов-раскислителей (из основного металла, сварочной проволоки, покрытия, флюса), соблюдение режимов сварки.

Наряду с порами сплошность металла шва нарушают шлаковые включения. *Шлаковые включения* связаны с тугоплавкостью, повышенной вязкостью и высокой плотностью шлаков, плохой зачисткой поверхности кромок и отдельных слоев при многослойной сварке, затеканием шлака в зазоры между свариваемыми кромками и в места подрезов. Помимо шлаковых включений в шве могут быть микроскопические оксидные, сульфидные, нитридные, фосфорсодержащие включения, которые ухудшают свойства сварного шва.

Технология сварки (вид сварки, сварочные материалы, техника сварки) выбирается в зависимости от основного показателя свариваемости (или сочетаний нескольких показателей) для каждого конкретного материала.

*Свариваемость* различных металлов и сплавов зависит от степени легирования, структуры и содержания примесей. Наибольшее влияние на свариваемость сталей оказывает углерод. С увеличением содержания углерода, а также ряда других легирующих элементов свариваемость сталей ухудшается. Главными трудностями при сварке конструкционных низкоуглеродистых, низколегированных, а также среднелегированных сталей являются:

- чувствительность к закаливанию и образованию холодных трещин;
- склонность к образованию горячих трещин;
- обеспечение равнопрочности сварного соединения.

Чем выше содержание углерода в стали, тем выше опасность холодных и горячих трещин и труднее обеспечить равнопрочность сварного соединения. Ориентировочным количественным показателем свариваемости стали известного химического состава является эквивалентное содержание углерода, которое определяется по формуле

$$C_s = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15}, \quad (11)$$

где содержание углерода (C) и легирующих элементов (Cr, Mn, Mo, V,

Ni, Cu) дается в процентах.

В зависимости от эквивалентного содержания углерода и связанной с этим склонности к закалке и образованию холодных трещин стали по свариваемости делят на четыре группы: хорошо, удовлетворительно, ограниченно и плохо сваривающиеся стали (табл. 2.9).

Стали первой группы имеют  $C_s \leq 0,25$  %, хорошо свариваются без образования закалочных структур и трещин в широком диапазоне режимов, толщин и конструктивных форм. Удовлетворительно сваривающиеся стали ( $C_s = 0,25 \div 0,35$  %) мало склонны к образованию холодных трещин при правильном подборе режимов сварки, в ряде случаев требуется подогрев. Ограниченно сваривающиеся стали ( $C_s = 0,36 \div 0,45$  %) склонны к трещинообразованию, возможность регулирования сопротивляемости образованию трещин изменением режимов сварки ограничена, требуется подогрев. Плохо сваривающиеся стали ( $C_s > 0,45$  %) весьма склонны к закалке и трещинам, требуют при сварке подогрева, специальных технологических приемов сварки и термообработки.

Таблица 2.9

*Классификация сталей по свариваемости*

Группа свариваемости	Сталь	
	углеродистая	конструкционная легированная
1. Хорошая	Ст1, Ст2, Ст3, Ст4, 08; сталь 10, 15, 20, 25, 12кп, 16кп, 18кп, 20кп	15Г, 20Г, 15Х, 15ХА, 20Х, 15ХМ, 14ХГС, 10ХСНД, 10ХГСНД, 15ХСНД
2. Удовлетворительная	Ст5; сталь 30, 35	12ХН2, 12ХН3А, 14Х2МР, 10Г2МР, 20ХН3А, 20ХН, 20ХГСА, 25ХГСА, 30Х, 30ХМ
3. Ограниченная	Ст6; сталь 40, 45, 50	35Г, 40Г, 45Г, 40Г2, 35Х, 40Х, 45Х, 40ХН, 40ХМФА, 30ХГС, 30ХГСА, 30ХГСМ, 35ХМ, 20Х2Н4А, 4ХС, 12Х2Н4МА
4. Плохая	Сталь 65, 70, 75, 80, 85, У7, У8, У9, У10, У11, У12	50Г, 50Г2, 50Х, 50ХН, 45ХНЗМФА, 6ХС, 7ХЗ, 9ХС, 8ХЗ, 5ХНТ, 5ХНВ

**2.3.2. ОСНОВНЫЕ РЕАКЦИИ В ЗОНЕ СВАРКИ**

Под воздействием теплоты электрической дуги происходит расплавление кромок свариваемого изделия, электродного (или присадочного) металла, покрытия или флюса. При этом образуется сварочная ванна расплавленного металла, окруженная относительно холодным металлом иногда значительной толщины и покрытая слоем расплавленного шлака.

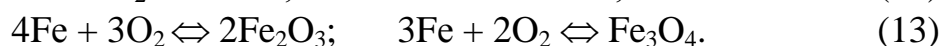
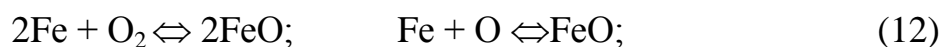
При сварке происходит взаимодействие расплавленного металла со шлаком, а также с выделяющимися газами и воздухом. Это взаимодействие начинается с момента образования капель металла электрода и продолжается до полного охлаждения наплавленного металла шва.

Основные особенности металлургических процессов, протекающих при сварке, определяются высокой температурой процесса, небольшим объемом ванны расплавляемого металла, большими скоростями нагрева и охлаждения металла, отводом теплоты в окружающий ванну основной металл, интенсивным взаимодействием расплавляемого металла с газами и шлаками в зоне дуги.

Высокая температура сварочной дуги значительно ускоряет физико-химические процессы, происходящие при плавлении металла. Она вызывает также *диссоциацию* (распад) молекул кислорода и азота в атомарное состояние. Обладая большой химической активностью, эти газы интенсивнее взаимодействуют с расплавленным металлом шва. В зоне дуги происходит распад молекул паров воды с диссоциацией молекул водорода, атомарный водород активно насыщает металл шва. Высокая температура способствует выгоранию примесей и тем самым изменяет химический состав свариваемого металла. Небольшой объем ванны расплавленного металла (при ручной сварке – 0,5...1,5 см<sup>3</sup>, при автоматической сварке – 24...300 см<sup>3</sup>) и интенсивный отвод теплоты в металл, окружающий ванну, не дает возможности полностью завершиться всем реакциям взаимодействия между жидким металлом, газами и расплавленным шлаком. Большие скорости нагрева и охлаждения значительно ускоряют процесс кристаллизации, приводят к образованию закалочных структур, трещин и других дефектов. Под действием теплоты происходят структурные изменения в металле околошовной зоны, которые также приводят к ослаблению сварного шва.

На расплавленный металл существенное воздействие оказывает газовая среда и расплавленный шлак. Газовая среда состоит главным образом из кислорода, азота и водорода.

*Кислород* поступает в зону сварки из воздуха и из электродного покрытия. Взаимодействуя с расплавленным металлом, кислород в первую очередь окисляет железо, так как его концентрация в стали наибольшая. Находясь в зоне дуги как в молекулярном, так и в атомарном состоянии, кислород образует с железом три оксида: FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Взаимодействие протекает по следующим реакциям:



В процессе окисления железа участвуют также находящиеся в зоне дуги углекислый газ и пары воды:



Из соединений железа с кислородом наибольшее влияние на свойства стали оказывает оксид железа FeO, так как только он растворяется в железе. Растворимость оксида железа в стали зависит главным образом от содержания углерода и температуры металла. С увеличением содержания углерода в стали растворимость оксида железа снижается. При высокой температуре стали растворимость оксида железа выше, чем при низкой температуре. Поэтому при охлаждении стали происходит выпадение из раствора оксида железа FeO. При высоких скоростях охлаждения часть оксида железа остается в растворе, образуя шлаковые прослойки между зернами металла.

Окисление примесей, содержащихся в стали, происходит либо посредственно в дуге, либо при взаимодействии с оксидом железа, растворенного в сварочной ванне металла. Значительное сродство углерода, марганца и кремния с кислородом приводит к сильному уменьшению содержания этих примесей в расплавленном металле шва. Таким образом, кислород находится в стали преимущественно в виде оксидных включений железа, марганца и кремния.

В кипящей низкоуглеродистой стали Ст3 кислорода 0,001...0,002 %, в спокойной стали – 0,03...0,08 %. В металле шва при сварке незащищенной дугой содержание кислорода достигает 0,3 %, при сварке защищенной дугой доходит до 0,05 %.

*Азот* в зону сварки проникает из окружающего воздуха. В зоне дуги азот находится как в молекулярном, так и в атомарном состоянии. Диссоциированный азот более активно растворяется в расплавленном металле сварочной ванны, чем молекулярный. Растворимость азота зависит от температуры металла шва. При охлаждении металла азот, выделяясь из раствора, взаимодействует с металлом шва и образует химические соединения: нитриды железа ( $\text{Fe}_2\text{N}$ ,  $\text{Fe}_4\text{N}$ ), марганца ( $\text{MnN}$ ) и кремния ( $\text{SiN}$ ). При больших скоростях охлаждения азот не успевает полностью выделиться и составляет с металлом пересыщенный твердый раствор. Со временем такой азот является причиной процесса старения металла, значительно снижающего механические свойства стали.

В низкоуглеродистой стали азота содержится до 0,006 %, в металле шва при сварке незащищенной дугой содержание азота достигает 0,2 %, при сварке защищенной дугой – 0,03 %.

Азот является вредной примесью стали, так как, повышая проч-

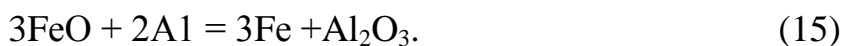
ность и твердость, он вместе с этим значительно снижает пластичность и вязкость металла. Устраняют влияние азота на качество сварного шва хорошей защитой зоны дуги от атмосферного воздуха. Кроме того, применяют сварочные материалы, содержащие алюминий, титан и другие элементы, которые образуют нитриды, выходящие в шлак и меньше снижающие качество шва.

*Водород* в зоне сварки образуется во время диссоциации водяных паров при высоких температурах дуги. Пары воды попадают в зону дуги из влаги электродного покрытия или флюса, ржавчины и окружающего воздуха. Молекулярный водород распадается на атомарный, который хорошо растворяется в расплавленном металле. Растворимость водорода в железе в значительной степени зависит от температуры металла. При температуре 2400 °С насыщение достигает максимального значения (43 см<sup>3</sup> водорода на 100 г металла). При высоких скоростях охлаждения металла водород переходит из атомарного состояния в молекулярное, но полностью выделиться из металла не успевает. Это вызывает пористость и мелкие трещины. Снижение влияния водорода на качество сварного шва достигается сушкой и прокалкой материалов сварки, очисткой от ржавчины и хорошей защитой зоны дуги.

Для получения сварного шва высокого качества необходимо принять меры по защите расплавленного металла сварочной ванны, главным образом, от воздействия кислорода, азота и водорода. Защита сварочной ванны осуществляется созданием вокруг дуги газовой оболочки и шлакового слоя над ванной расплавленного металла. Однако эти меры полностью не предохраняют от насыщения металла кислородом и образования оксидов. Поэтому необходимо производить как раскисление металла, так и удаление образовавшихся оксидов из сварочной ванны.

*Раскисление* жидкого металла сварочной ванны производят, вводя в него элементы, имеющие большое сродство к кислороду: алюминий, титан, кремний, углерод, марганец. Эти элементы вводят в сварочную ванну либо через электродную проволоку (или присадочный металл), либо через электродное покрытие (или флюсы).

*Алюминий* как раскислитель применяется редко, так как он образует тугоплавкие оксиды и придает стали склонность к образованию трещин. Раскисление алюминием протекает по реакции



*Титан* является активным раскислителем и поэтому широко применяется в различных электродных покрытиях. Раскисление протекает по реакции





Кроме того, титан образует нитриды, снижая содержание азота в металле.

*Кремний* – очень хороший раскислитель и применяется в электродных покрытиях и флюсах в виде ферросилиция или кварцевого песка. Раскисление кремнием происходит по реакции



Кроме того, протекает реакция образования силикатов



Полученные оксиды  $\text{SiO}_2$  и силикат оксида железа не растворяются в железе и выходят в шлак.

*Углерод* образует с кислородом газообразный оксид углерода, который в стали не растворяется, а выделяется в виде пузырьков. При больших скоростях охлаждения оксид углерода не успевает выделиться из металла шва, образуя в нем газовые поры. Раскисление протекает по реакции

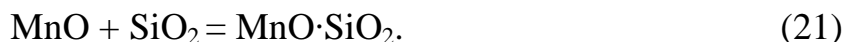


Для предупреждения пористости металла шва рекомендуется вводить в сварочную ванну кремний в таком количестве, чтобы подавить раскисляющее действие углерода.

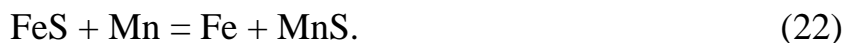
*Марганец* является наиболее распространенным активным раскислителем. Он входит во многие электродные покрытия и флюсы. Раскисление происходит по реакции



Оксид марганца, взаимодействуя с оксидом кремния, образует не растворяющийся в стали силикат оксида марганца



Кроме того, марганец способствует удалению серы из стали по реакции



Сернистый марганец также не растворяется в стали и выходит в шлак. Марганец вводится в электродные покрытия и флюсы в виде ферромарганца и марганцевой руды.

Для восстановления первичного химического состава металла, а в некоторых случаях для улучшения механических свойств металла шва производят легирование наплавляемого металла. Цель легирования – восполнить выгорание основных примесей стали и ввести в металл шва элементы, придающие стали специальные качества. Легирующие элементы (кремний, марганец, хром, молибден, вольфрам и др.) используют через электродное покрытие в виде ферросплавов (ферросилиций, ферромарганец, феррохром, ферротитан, феррованадий, ферромолибден и др.), а также в виде электродного металла.

### **2.3.3. КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ МЕТАЛЛА СВАРОЧНОЙ ВАННЫ**

В процессе сварки, по мере перемещения дуги, вслед ей перемещается сварочная ванна. При этом в задней части ванны происходит охлаждение расплавленного металла, который, затвердевая, образует сварной шов.

Кристаллизация металла сварочной ванны начинается у границы с нерасплавившимся основным металлом в зоне сплавления. Различают кристаллизацию первичную и вторичную. *Первичной* кристаллизацией называют процесс перехода металлов и сплавов из расплавленного (жидкого) состояния в твердое. У металлов, не имеющих аллотропических превращений, процесс затвердевания и охлаждения осуществляется только первичной кристаллизацией. У металлов и сплавов, имеющих аллотропические формы или модификации, после первичной кристаллизации при дальнейшем охлаждении происходит *вторичная* кристаллизация металла в твердом состоянии при переходе из одной аллотропической формы в другую (фазовые превращения).

Первичная кристаллизация металла сварочной ванны протекает периодически, что обусловлено периодичностью ухудшения теплообмена и выделения скрытой теплоты кристаллизации. Это приводит к слоистому строению металла шва, к появлению ликвации как зональной, так и дендритной. Толщина закристаллизовавшихся слоев зависит от объема сварочной ванны и скорости охлаждения металла и колеблется в пределах от десятых долей миллиметра до нескольких миллиметров. Зональная (слоистая) ликвация выражается неоднородностью химического состава металла шва в периферийной и центральной зонах. Это является следствием того, что металл периферийных зон затвердевает раньше и поэтому содержит меньше примесей. Металл центральной зо-

ны шва вследствие этого оказывается более обогащенным примесями. Дендритная ликвация характеризуется химической неоднородностью кристаллитов. Первые кристаллиты (центральные и начальные части дендритов) содержат меньше примесей, а междендритное пространство оказывается более загрязненным примесями. Следует отметить, что способ сварки оказывает существенное влияние на процесс ликвации.

Улучшая условия диффузии ликвидирующих примесей в твердом металле можно значительно снизить как слоистую, так и дендритную ликвацию. Например, увеличивая скорость охлаждения металла, сокращают длительность двухфазного состояния металла сварочной ванны и этим снижают степень неоднородности состава жидкой и твердой фаз металла шва. Большое значение имеет температурный интервал начала и конца кристаллизации. Чем меньше температурный интервал кристаллизации, тем ниже уровень ликвации. Например, в сталях низкоуглеродистых, имеющих температурный интервал кристаллизации 25...35 °С, ликвация незначительна. С увеличением содержания углерода в стали температурный интервал кристаллизации возрастает и поэтому степень ликвации повышается.

Вторичная кристаллизация металла происходит при дальнейшем охлаждении твердого металла в виде изменений форм зерен при аллотропических изменениях в металле шва. Она в значительной степени зависит от химического состава металла, скорости охлаждения, а также от ряда других факторов.

Теплота, выделяемая дугой при сварке, распространяется на основной металл. При этом по мере удаления от границы сплавления скорость и максимальная температура нагрева металла снижаются. Вследствие этого в зоне основного металла в зависимости от температуры нагрева происходят фазовые и структурные изменения, которые влияют на прочность сварного соединения. Зону основного металла, прилегающую к сварочной ванне, называют *зоной термического влияния*.

На рисунке 2.40 схематично показано строение этой зоны и температурные участки с различными структурными превращениями низкоуглеродистой стали.

*Участок неполного расплавления 2* является важным участком зоны, так как здесь происходит сращивание основного и наплавленного металлов и образование общих кристаллов. Участок представляет собой узкую полосу, измеряемую десятками, а иногда и сотыми долями миллиметра в зависимости от способа сварки.

*Участок перегрева 3* включает в себя металл, нагреваемый до температуры, близкой к температуре плавления. Этот участок характеризуется крупнозернистой структурой. Перегрев, как правило, снижает ме-

ханические качества металла (пластичность, вязкость). Перегрев стали может вызвать образование крупнозернистой игольчатой структуры (так называемой видманштеттовой структуры) с низкими механическими показателями. Это явление характерно для сталей с большим содержанием углерода. Участок перегрева особенно опасен для сталей, склонных к образованию закалочных структур.

Участок нормализации 4 включает металл, нагреваемый до температуры более 900 °С. При нагреве и охлаждении металла на этом участке происходит перекристаллизация и значительное измельчение зерна. Металл участка приобретает высокие механические качества.

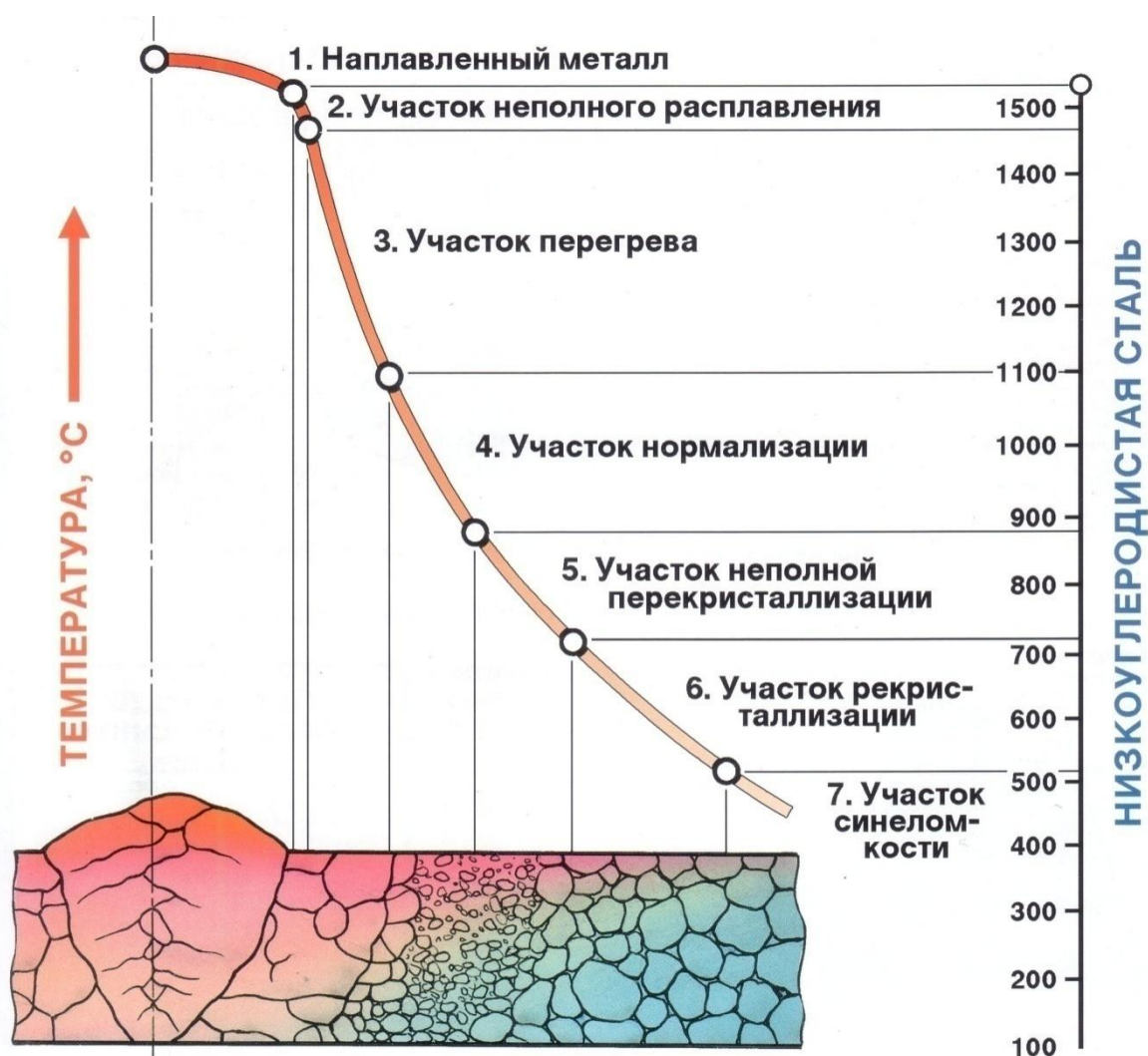


Рис. 2.40. Структура металла в зоне термического влияния при сварке низкоуглеродистой стали

Участок неполной перекристаллизации 5 включает металл, нагреваемый до температуры выше 725 °С. Металл участка состоит из круп-

ных зерен, не прошедших перекристаллизацию, и скопления мелких зерен, прошедших перекристаллизацию. Это объясняется тем, что теплоты, полученной металлом, недостаточно для его полной перекристаллизации. Механические качества металла участка в связи с такой смешанной структурой невысокие.

*Участок рекристаллизации 6* включает металл, нагреваемый выше температуры 450...500 °С. На этом участке структурные изменения в металле не происходят, если только он перед сваркой не подвергался обработке давлением. Если же металл перед сваркой подвергался пластическим деформациям, то на этом участке наблюдается восстановление прежней формы и размеров зерен металла, разрушенных при обработке давлением.

*Участок синеломкости 7* по структуре металла не отличается от основного. Однако металл участка имеет несколько пониженную пластичность и вязкость, а также большую склонность к образованию трещин.

Ширина зоны термического влияния зависит от вида, способа и режима сварки (ручная дуговая сварка – 2,5...6 мм, механизированная сварка под флюсом – 2,5...4 мм, сварка в защитных газах – 1...2,5 мм).

Следует отметить, что на механические свойства низкоуглеродистой стали сварка оказывает незначительное влияние. При сварке же конструкционных сталей в зоне термического влияния могут происходить структурные изменения, снижающие механические показатели сварного соединения. При этом в металле шва образуются закалочные структуры и даже трещины. Значительно снизить термическое влияние процесса сварки на металл шва и околошовной зоны и получить качественное соединение можно правильным выбором режима и техники сварки, а также хорошей подготовкой разделки шва.

## **2.4. СВАРОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

### **2.4.1. СВАРОЧНАЯ ПРОВОЛОКА**

Для заполнения разделки шва в зону дуги вводят присадочный металл в виде прутка или проволоки. При ручной дуговой сварке применяют плавящиеся электроды в виде прутков или стержней с покрытием. При механизированной сварке используют электрод в виде проволоки, намотанной на катушку.

Стальная проволока, идущая на производство электродов или применяемая как сварочная проволока, изготавливается по ГОСТ 2246-70. Этот ГОСТ предусматривает марки и химический состав металла, размеры с допусками, технические требования, методы испытания, марки-

ровку, упаковку, хранение и транспортирование. Изготавливают стальную холодноотянутую проволоку круглого сечения диаметрами 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 и 12,0 мм и поставляют в мотках (бухтах) из одного отреза. Проволока первых семи диаметров предназначена в основном для механизированной и автоматической сварки в защитном газе. Для автоматической и механизированной сварки под флюсом применяют проволоку диаметром 2...6 мм. Проволока диаметром 1,6...12,0 мм идет на изготовление стержней электродов. Поверхность проволоки должна быть гладкой, чистой, без окалина, ржавчины, грязи и масла.

По химическому составу ГОСТ 2246-70 устанавливает для стальной проволоки три основные группы (табл. 2.10): углеродистые (6 марок) с содержанием углерода не более 0,12 %, предназначенные для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и некоторых низколегированных сталей; легированные (30 марок) для сварки низколегированных, конструкционных, теплостойких сталей; высоколегированные (41 марка) для сварки хромистых, хромоникелевых, нержавеющей и других специальных легированных сталей.

Проволока маркируется индексом Св (сварочная), буквами и цифрами. В обозначении марок стальных проволок могут встречаться следующие буквы: **Б** – ниобий; **В** – вольфрам; **Г** – марганец; **Д** – медь; **М** – молибден; **Н** – никель; **С** – кремний; **Т** – титан; **Ф** – ванадий; **Х** – хром; **Ц** – цирконий; **Ю** – алюминий; **А** – азот; **К** – кобальт; **Е** – селен.

Таблица 2.10

*Марки стальной сварочной проволоки по ГОСТ 2246-70*

Низкоуглеродистая	Легированная	Высоколегированная
1	2	3
Св-08	Св-08ГС	Св-12Х11НМФ
Св-08А	Св-12ГС	Св-10Х11НВМФ
Св-08АА	Св-08Г2С	Св-12Х13
Св-08ГА	Св-10ГН	Св-20Х13
Св-10ГА	Св-08ГСМТ	Св-06Х14
Св-10Г2	Св-15ГСТЮЦА	Св-08Х14ГНТ
	Св-20ГСТЮА	Св-10Х17Т
	Св-18ХГС	Св-13Х25Т
	Св-10НМА	Св-01Х19Н9
	Св-08МХ	Св-04Х19Н9
	Св-08ХМ	Св-08Х16Н8М2

Окончание табл. 2.10

	Св-18ХМА	Св-08Х18Н8Г2Б
	Св-08ХНМ	Св-07Х18Н9ТЮ
	Св-08ХМФА	Св-06Х19Н9Т
	Св-10ХМФТ	Св-04Х19Н9С2
	Св-08ХГ2С	Св-08Х19Н9Ф2С2
	Св-08ХГСМА	Св-05Х19Н9Ф3С2
	Св-10ХГ2СМА	Св-07Х19Н10Б
	Св-08ХГСМФА	Св-08Х19Н10Г2Б
	Св-04Х2МА	Св-06Х19Н10М3Т
	Св-13Х2МФТ	Св-08Х19Н10М3Б
	Св-08Х3Г2СМ	Св-04Х19Н11М3
	Св-08ХМНФБА	Св-05Х20Н9ФБС
	Св-08ХН2М	Св-06Х20Н11М3ТБ
	Св-10ХН2ГМТ	Св-10Х20Н15
	Св-08ХН2ГМТА	Св-07Х25Н12Г2Т
	Св-08ХН2ГМЮ	Св-06Х25Н12ТЮ
	Св-08ХН2Г2СМЮ	Св-07Х25Н13
	Св-06Н3	Св-08Х25Н13БТЮ
	Св-10Х5М	Св-13Х25Н18
		Св-08Х20Н9Г7Т
		Св-08Х21Н10Г6
		Св-30Х25Н16Г7
		Св-10Х16Н25АМ6
		Св-09Х16Н25М6АФ
		Св-01Х23Н28М3Д3Т
		Св-30Х15Н35В3Б3Т
		Св-08Н50
		Св-05Х15Н60М15

Первые две цифры указывают содержание углерода в сотых долях процента, а цифры после буквы, указывающей легирующие примеси, – количество данного элемента в процентах. Отсутствие цифры после буквенного обозначения легирующего элемента означает, что этого элемента в материале проволоки менее одного процента. Буква А в конце марки указывает на пониженное содержание вредных примесей (серы и фосфора). Например сварочная проволока марки Св-08ХГ2С содержит 0,08 % углерода; до 1 % хрома; до 2 % марганца и до 1 % кремния.

Содержание углерода в сварочной проволоке не превышает 0,12...0,15% (за редким исключением), что снижает склонность металла шва к газовой пористости и образованию твердых закалочных структур. Содержание кремния в углеродистой проволоке составляет менее 0,03 %, так как наличие кремния способствует образованию при сварке пор в металле шва. Допустимое содержание серы и фосфора также ог-

раничено (0,04 % каждого элемента), так как они даже при малой концентрации способствуют образованию трещин в сварном шве.

ГОСТ 7871-75 определяет химический состав 14 марок проволоки (диаметром от 0,8 до 12,5 мм), изготовленной из алюминия и его сплавов. Ряд регламентируемых диаметров, отличающихся от стальной проволоки (0,8; 0,9; 1,0; 1,12; 1,25; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,24; 2,5; 2,8; 3,15; 3,55; 4,0; 4,5; 5,0; 5,6; 6,3; 7,1; 8,0; 9,0; 10,0; 11,2; 12,5). Увеличение минимального диаметра алюминиевой проволоки связано с низкой температурой плавления. Обозначение: проволока 2,0 – СвА97 ГОСТ 7871-75. Марка проволоки показывает процентное содержание алюминия в проволоке – 97 %, остальное занимают примеси. При обозначении сплавов на основе алюминия используются буквы: Мг, К, Мц, Т, где Мг – магний, К – кремний, Мц – марганец, Т – титан. Стандартом регламентирован химический состав следующих марок сварочной проволоки: СвА97, СвА85Т, СвА5, СвАМц, СвАМг3, СвАМг4, СвАМг5, Св1557, СвАМг6, СвАМг61, СвАМг63, СвАК5, СвАК10, Св1201.

ГОСТ 16130-90 определяет химический состав 17 марок проволоки (диаметром от 0,8 до 8,0 мм массой от 5 до 20 кг) следующих марок: М1; МСр1; МНЖ5-1; МНЖКТ5-1-0,2-0,2; БрКМц3-1; БрОЦ4-3; БрАМц9-2; БрОФ6,5-0,15; БрАЖМц10-3-1,5; БрХ0,7; БрХНТ; БрНЦр; БрНЦрТ; Л63; ЛО60-1; ЛК62-0,5; ЛКБО62-0,2-0,04-0,5. Ряд регламентируемых стандартом диаметров проволоки (0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,5; 3,0; 3,5; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 мм) обозначается следующим образом: проволока М1 ГОСТ 16130-90. Могут быть и медные сплавы в виде сплава железа, бронзы и латуни: МНЖКТ5-1-0,2-0,2, БрХ0,7, БрОЦ4-3, Л63, ЛК62-0,5 и т.д. Сварочные прутки изготавливают 12 марок немерной длины от 1 до 5 м или согласно заказу. Поверхность проволоки и прутков должна быть чистой и гладкой, без трещин и расслоений. Проволока поставляется мягкой (отожжённая) (М), полутвёрдой (Пт) и твёрдой (Т), прутки – мягкими и твёрдыми. Зависит это от марки сварочной проволоки. В большинстве случаев проволока поставляется мягкой или твёрдой.

Полутвёрдой проволока поставляется по соглашению сторон. Мягкая проволока обозначается: проволока ЛК62-0,5-М-2 ГОСТ 16130-98, где 2 – диаметр сварочной проволоки, ЛК62-0,5-М – марка мягкой латунной проволоки.

ГОСТ 10543-98 регламентирует 30 марок стальной наплавочной проволоки диаметром от 0,3 до 8,0 мм. Ограничение максимального диаметра до 8 мм связано с необходимостью снижения доли участия основного металла в металле шва и более высоких характеристиках наплавленного валика, обеспечиваемых при минимальном количестве



слоёв. Масса бухты составляет от 2 до 30 кг. Данным стандартом регламентируются следующие марки проволоки (табл. 2.11.).

Обозначается марка проволоки аналогично с ГОСТ 2246-70 и указывает химический состав материала. Обозначение: проволока 1,2 Нп-30ХГСА ГОСТ 10543-98. Индекс Нп и номер стандарта говорят о том, что проволока предназначена для наплавочных работ.

Буква А в конце марки проволоки показывает пониженное содержание в наплавочной проволоке серы и фосфора.

Наплавочные проволоки используются лишь для получения поверхностей с особыми свойствами (твёрдость, коррозионная стойкость и т.д.) и для изготовления покрытых электродов, предназначенных для выполнения наплавочных работ.

Таблица 2.11

*Марки наплавочной проволоки по ГОСТ 10543-98*

Низкоуглеродистая	Легированная
Нп-25	Нп-40Г
Нп-30	Нп-50Г
Нп-35	Нп-65Г
Нп-40	Нп-30ХГСА
Нп-45	Нп-30Х5
Нп-50	Нп-40Х3Г2МФ
Нп-65	Нп-40Х2Г2М
Нп-80	Нп-55ХНМ
Нп-85	Нп-50ХФА
	Нп-50Х6ФМС
	Нп-105Х

При наплавочных работах, осуществляемых для повышения износостойкости поверхности различных деталей, твёрдость наплавленного металла может находиться от 160...220 НВ до 54...56 HRC.

ГОСТ 26271-84 регламентирует порошковые проволоки для дуговой сварки и наплавки. Стандарт регламентирует порошковую проволоку диаметром 2,0; 2,2; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,6; 4,0; 5,0; 6,0; 8,0 мм. Порошковая проволока представляет собой трубчатую, часто сложного внутреннего сечения, проволоку, заполненную порошкообразным наполнителем (рис. 2.35). Порошкообразный наполнитель имеет состав, обычно соответствующий покрытиям основного типа с отношением его массы к массе металлической оболочки в пределах 15...40 %. Сохраняя технологические преимущества голой проволоки, порошковая проволока позволяет создавать газовую и шлаковую защиту металла сварочной ванны от воздуха, обеспечивать легирование металла шва и его очистку от вредных приме-

сей. Надёжность защиты металла сварочной ванны от атмосферного воздуха можно характеризовать по содержанию азота (попадающего в металл шва именно из воздуха). Так, при сварке порошковой проволокой содержание азота обычно не превышает 0,02...0,025 %.

Порошковая проволока состоит из металлической оболочки и порошкового сердечника (рис. 2.41). Металлическая оболочка, к которой через поверхность подводится сварочный ток, удерживает порошковый сердечник и позволяет осуществлять непрерывный процесс плавления при малом вылете электрода. Тем самым предотвращается преждевременное термическое разложение компонентов сердечника. Особенности этого сварочного материала позволяют применять большие плотности тока. Этим достигается высокая производительность плавления.

Сердечник порошковой проволоки представляет собой смесь порошков минералов, руд, химикатов, ферросплавов и металлических порошков. Он выполняет функции, аналогичные функциям электродного покрытия, – стабилизацию дугового разряда, защиту металла от воздуха, раскисление и легирование металла шва, регулирование процесса переноса расплавленного электродного металла в сварочную ванну, формирование шва и др.

Газообразующие материалы служат для создания защитной газовой среды в зоне плавления. Ими могут быть органические вещества (крахмал, целлюлоза), карбонаты преимущественно щелочноземельных и щелочных металлов (мрамор, магнезит, кальцинированная сода), фториды с низкой температурой диссоциации.

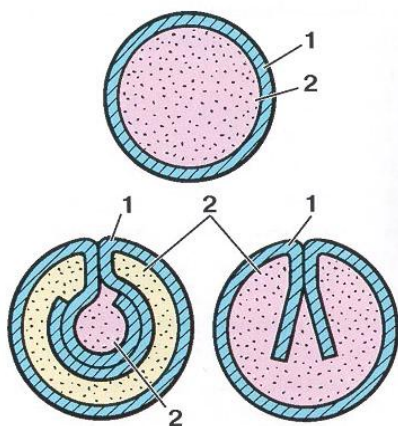


Рис. 2.41. Виды сечений порошковой проволоки:  
1 – стальная лента; 2 – шихта

Производительность сварки определяют по массе металла, наплавляемого в единицу времени. Сварка порошковой проволокой – один из наиболее производительных процессов. Производительность сварки порошковой проволокой зависит от марки проволоки, типа сердечника,

конструкции оболочки и пространственного положения сварки. Так производительность может находиться в пределах 2...13 кг для проволок самозащитных общего назначения и 3...12 кг для проволок общего назначения при сварке в углекислом газе. Кроме того, такая сварка является процессом с высоким коэффициентом использования электродного материала. Расход проволоки на получение 1 кг наплавленного металла не превышает 1,3 кг и ниже, чем при использовании штучных электродов. При сварке порошковой проволокой рутилового типа в углекислом газе, когда практически отсутствует разбрызгивание электродного металла. Расход проволоки составляет около 1,2 кг.

Условное обозначение порошковой проволоки включает первый индекс ПП (порошковая проволока), после которого через дефис ставятся буквенные или цифровые обозначения – шифр регистрации сварочного материала, принятый в отрасли организации-разработчика.

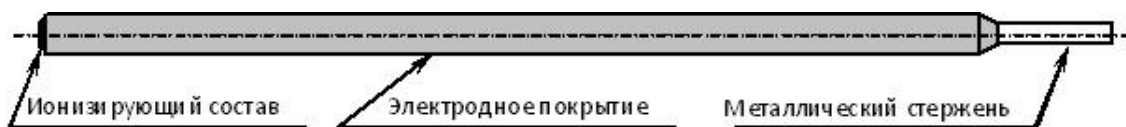
Пример обозначения порошковой проволоки:

*ПП-АНЗ 3,0 ПС44-А2Н ГОСТ 26271–84,*

т.е. порошковая проволока марки ПП-АНЗ диаметром 3,0 мм, самозащитной (ПС), по пределу текучести металла шва типа 44 ( $\sigma_B = 500...650$  МПа), по химическому составу наплавленного металла категории А (пониженное содержание углерода, серы и фосфора), обеспечивающей ударную вязкость металла шва не ниже 35 Дж/см<sup>2</sup> при температуре до – 20 °С (2), используется для сварки в нижнем положении (Н).

#### **2.4.2. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ЭЛЕКТРОДЫ**

Электроды для ручной дуговой сварки представляют собой стержни длиной до 450 мм, изготовленные из сварочной проволоки, на поверхность которых наносится слой покрытия различной толщины и состава. Один из концов электрода на длине 20...30 мм освобождён от покрытия для зажатия его в электрододержателе с целью обеспечения электрического контакта. Торец другого конца очищают от покрытия для возможности возбуждения дуги контактным методом. Допускается нанесение специального ионизирующего состава (слой графита) для облегчения первоначального поджига дуги (рис. 2.42).



*Рис. 2.42. Внешний вид покрытого электрода для ручной дуговой сварки*

Электроды, применяемые для сварки и наплавки, классифицируют-

ся по назначению (для сварки стали, чугуна, цветных металлов и для наплавочных работ), технологическим особенностям (для сварки в различных пространственных положениях, для сварки с глубоким проплавлением и для ванной сварки), типу покрытия (кислородное, целлюлозное, рутиловое, основное, смешанное и прочее), химическому составу стержня и покрытия, характеру шлака, механическим свойствам металла шва и способу нанесения покрытия (опрессовкой или окунанием).

Основными требованиями для всех типов электродов являются:

- обеспечение стабильного горения дуги и хорошего формирования шва;
- получение металла сварного шва заданного химического состава;
- спокойное и равномерное расплавление электродного стержня и покрытия;
- минимальное разбрызгивание электродного металла и высокая производительность сварки, легкая отделимость шлака и достаточная прочность покрытий;
- сохранение физико-химических и технологических свойств электродов в течение определенного промежутка времени;
- минимальная токсичность при изготовлении и при сварке.

Электроды для дуговой сварки сталей и наплавки по ГОСТ 9466-75 подразделяются на следующие классы:

- для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей;
- для сварки легированных теплоустойчивых сталей;
- для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами;
- для наплавки поверхностных слоев с особыми свойствами (кроме электродов для наплавки цветных сплавов).

Длина электродов приводится в таблице 2.12.

Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, а также электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей классифицируются по ГОСТ 9467-75. Этим стандартом предусмотрено 9 типов электродов для сварки низкоуглеродистых, среднеуглеродистых и низколегированных сталей (Э38, Э42, Э42А, Э46, Э46А, Э50, Э50А, Э55 и Э60), 5 типов электродов для легированных сталей повышенной прочности (Э70, Э85, Э100, Э125, Э150). Кроме того, предусмотрены 9 типов электродов для сварки теплоустойчивых сталей.

Электроды для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей обозначают по марке и типу электрода, диаметру стержня, по типу покрытия и ГОСТу. Тип электрода обозначается буквой Э и

цифрой, указывающей гарантируемый предел прочности металла шва в кгс/мм<sup>2</sup> (МПа). Буква А в обозначении указывает, что металл шва, наплавленный этим электродом, имеет повышенные пластические свойства. Такие электроды применяют при сварке наиболее ответственных швов. Для изготовления стержней большинства электродов, предназначенных для сварки углеродистых и легированных конструкционных сталей, применяют проволоку марок Св-08 и Св-08А.

Таблица 2.12

*Длина электрода в зависимости от его диаметра*

Диаметр электрода	Длина электрода, мм	
	углеродистого или легированного	высоколегированного
1,6; 2,0	225 или 250	225 или 250
2,5; 3,0	350	250
4,0	400 или 450	350
5,0; 6,0; 8,0; 10,0; 12,0	450	350 или 450

Каждому типу электрода соответствует несколько марок электродов. Например, типу Э42 соответствуют электроды ОМА-2, АНО-6, МЭЗ-04 и др. Марка электрода – это его промышленное обозначение, как правило, характеризующее стержень и покрытие.

Электроды для сварки теплоустойчивых сталей классифицируются по механическим свойствам металла шва и по химическому составу наплавленного металла в процентах. Буквы, стоящие после буквы Э, указывают на наличие легирующих элементов в наплавленном металле, а цифры - их содержание в процентах (если оно превышает 1 %).

При содержании легирующего элемента менее 1 % ставится только соответствующая буква. Например, при использовании электродов типа Э-Х2МФБ в наплавленном металле шва гарантируется содержание более 2 % хрома, до 1 % молибдена, ванадия и ниобия.

Электроды для сварки высоколегированных сталей с особыми свойствами классифицируются ГОСТ 10052-75 по химическому составу наплавленного металла, содержанию ферритной фазы, стойкости сварного соединения против межкристаллитной коррозии и механическим свойствам наплавленного металла, испытанного при температуре 20 °С. Этот стандарт предусматривает 27 типов электродов. Буква А, стоящая после буквы Э, обозначает аустенитные, а буква Ф – ферритные электроды. Буквы, стоящие после тире, обозначают название элементов, по которым гарантировано содержание этих элементов в наплавленном металле шва.

Электроды для дуговой наплавки регламентируются ГОСТ 10051-75 (25 типов электродов, которые характеризуются химическим составом на-

плавленного металла и его твердостью).

*Покрyтия (обмазки) электродов.* Электродные покрытия (обмазки) состоят из ионизирующих, шлакообразующих, газообразующих, раскисляющих, легирующих и связующих компонентов.

1. *Ионизирующие* вещества предназначены для снижения эффективного потенциала ионизации, что обеспечивает стабильное горение дуги. В качестве ионизирующих компонентов в покрытия вводят такие вещества, как мел, мрамор, поташ, полевой шпат и др.

2. *Газообразующие* вещества, которые при сварке разлагаются или сгорают, выделяя большое количество газов, создающих в зоне дуги газовую оболочку. Благодаря этой оболочке металл шва предохраняется от воздействия атмосферного кислорода и азота. Такими газообразующими веществами являются крахмал, древесная мука, целлюлоза и др.

3. *Раскисляющие* вещества, которые обладают большим сродством с кислородом и поэтому восстанавливают металл шва. Раскислителями служат ферросплавы, алюминий, графит и др.

4. *Шлакообразующие* вещества создают шлаковую защиту расплавленного металла шва, а также капель электродного металла, проходящих через дуговой промежуток. Кроме того, шлаки активно участвуют в металлургических процессах при сварке и способствуют получению качественного шва. В качестве шлакообразующих веществ применяют полевой шпат ( $K_2O \times Al_2O_3 \times 6SiO_2$ ), кварц ( $SiO_2$ ), мрамор, рутил, марганцевую руду и др.

5. *Легирующие* вещества, которые в процессе сварки переходят из покрытия в металл шва и легируют его для придания тех или иных физико-механических качеств. Хорошими легирующими веществами являются ферромарганец, ферросилиций, феррохром, ферротитан. Реже применяют различные оксиды металлов (меди, хрома и др.).

6. *Связующие* вещества предназначены для замеса всех компонентов покрытия в виде пасты, а также для связывания пасты на сердечнике электрода и придания определенной прочности после высыхания покрытия. Таким веществом является жидкое стекло. Реже применяется декстрин.

Все покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

- обеспечивать стабильное горение дуги;
- физические свойства шлаков, образующихся при плавлении электрода, должны обеспечивать нормальное формирование шва и удобное манипулирование электродом;
- не должны происходить реакции между шлаками, газами и металлом, способные вызвать образование пор в сварных швах;

- материалы покрытия должны хорошо измельчаться и не вступать в реакцию с жидким стеклом или между собой в замесе;
- состав покрытий должен обеспечивать приемлемые санитарно-гигиенические условия труда при изготовлении электродов и в процессе их сгорания.

По видам покрытия электроды подразделяют: с кислым покрытием – условное обозначение А; с рутиловым – Р; с целлюлозным – Ц; с основным – Б; с покрытием смешанного типа – соответствующее двойное обозначение (например, АЦ); с прочими видами покрытий – П.

*Кислые покрытия* (АНО-1, СМ-5) содержат руды в виде окислов железа и марганца; при плавлении они выделяют кислород, способный окислить металл ванны и легирующие примеси. Для ослабления действия кислорода в покрытие вводят раскислители в виде ферросплавов. Однако наплавленный металл имеет относительно малую вязкость и пластичность и пониженное содержание легирующих примесей.

*Рутиловые покрытия* (АНО-3, АНО-4, МР-3, ОЗС-4) имеют основным компонентом рутил ( $\text{TiO}_2$  – диоксид титана). Шлакообразующими служат рутил, а также полевой шпат, магнезит и др. В качестве раскислителя и легирующего компонента применяют ферромарганец.

*Целлюлозные покрытия* (ВСЦ-1, ВСЦ-2, ОМА-2) содержат главным образом органические компоненты в качестве газообразующих и связующих веществ. В качестве раскислителей введены ферромарганец, ферросилиций.

*Основные покрытия* (УОНИ-13, ДСК.-50) составлены на основе плавленого шпата ( $\text{CaP}$ ) и мрамора (карбонат кальция  $\text{CaCO}_3$ ). Отсутствие в составе этого покрытия оксидов железа и марганца позволяет широко легировать наплаваемый металл. При сварке можно получить металл шва заранее заданного химического состава с хорошими механическими свойствами. В качестве раскислителей покрытие содержит ферротитан, ферромарганец и ферросилиций.

Физические свойства образующихся шлаков оказывают значительное влияние на процесс сварки и формирование сварного шва. Во всех электродных покрытиях при их плавлении плотность шлака должна быть ниже плотности металла сварочной ванны, что обеспечит его всплывание из сварочной ванны. Температурный интервал затвердения шлака должен быть ниже температуры кристаллизации металла сварочной ванны, иначе слой шлака не будет пропускать выделяющиеся из сварочной ванны газы. Шлак должен покрывать сварной шов по всей поверхности ровным слоем.

*Свойства металла шва и технологические характеристики электродов.* Электроды характеризуют по свойствам наплавленного ими

металла, к которым относятся: прочность, пластичность, удлинение, ударная вязкость, твердость, коррозионная стойкость, стойкость против старения, – а при наплавочных работах и износостойкость.

Наряду с качеством металла шва, полученного при сварке данным электродом, важное значение имеют и его технологические свойства. К основным технологическим свойствам электрода относят его производительность, пригодность для сварки в различных пространственных положениях, стабильность горения дуги при постоянном и переменном токе, допустимую максимальную и минимальную длину дуги, форму шва, коэффициенты наплавки, расплавления и потерь.

Пример условного обозначения электродов приведен на рис. 2.43.

В промышленности широкое применение получили следующие электроды.

Электроды УОНИ-13 дают высокое качество металла шва и применяются для сварки ответственных швов из конструкционных сталей. Такие электроды выпускаются нескольких марок: УОНИ-13/45, УОНИ-13/55, УОНИ-13/65 и УОНИ-13/85. Цифры после черты обозначают получаемый предел прочности металла шва ( $\text{кгс/мм}^2$ ). Сварку можно производить при любом положении шва, но только на постоянном токе обратной полярности. Эти электроды применяют в заводских и монтажных условиях. Коэффициент наплавки электродов типа УОНИ-13 достигает  $9,5 \text{ г/(А}\cdot\text{ч)}$ .

Электрод СМ-11 (тип Э42А) получил широкое распространение в строительстве, применяется при сварке ответственных конструкций во всех пространственных положениях. Наплавленный металл имеет высокие механические свойства. Коэффициент наплавки электрода СМ-11 достигает  $10 \text{ г/(А}\cdot\text{ч)}$ . Важным положительным качеством электрода СМ-11 является устойчивость сварки в условиях монтажа, когда необходимо поддерживать постоянство длины сварочной дуги. Таким же качеством обладают электроды марки МР-3, имеющие коэффициент наплавки  $9 \text{ г/(А}\cdot\text{ч)}$ . Они предназначены для сварки постоянным и переменным током.

Большое применение получили электрод марки ОЗС-4 (тип Э46) (коэффициент наплавки  $8,5 \text{ г/(А}\cdot\text{ч)}$ ) для сварки ответственных металлоконструкций из низкоуглеродистой стали и электрод ОЗС-5 (коэффициент наплавки  $11 \text{ г/(А}\cdot\text{ч)}$ ), содержащий в покрытии железный порошок. Сварка выполняется переменным и постоянным током любой полярности во всех пространственных положениях.



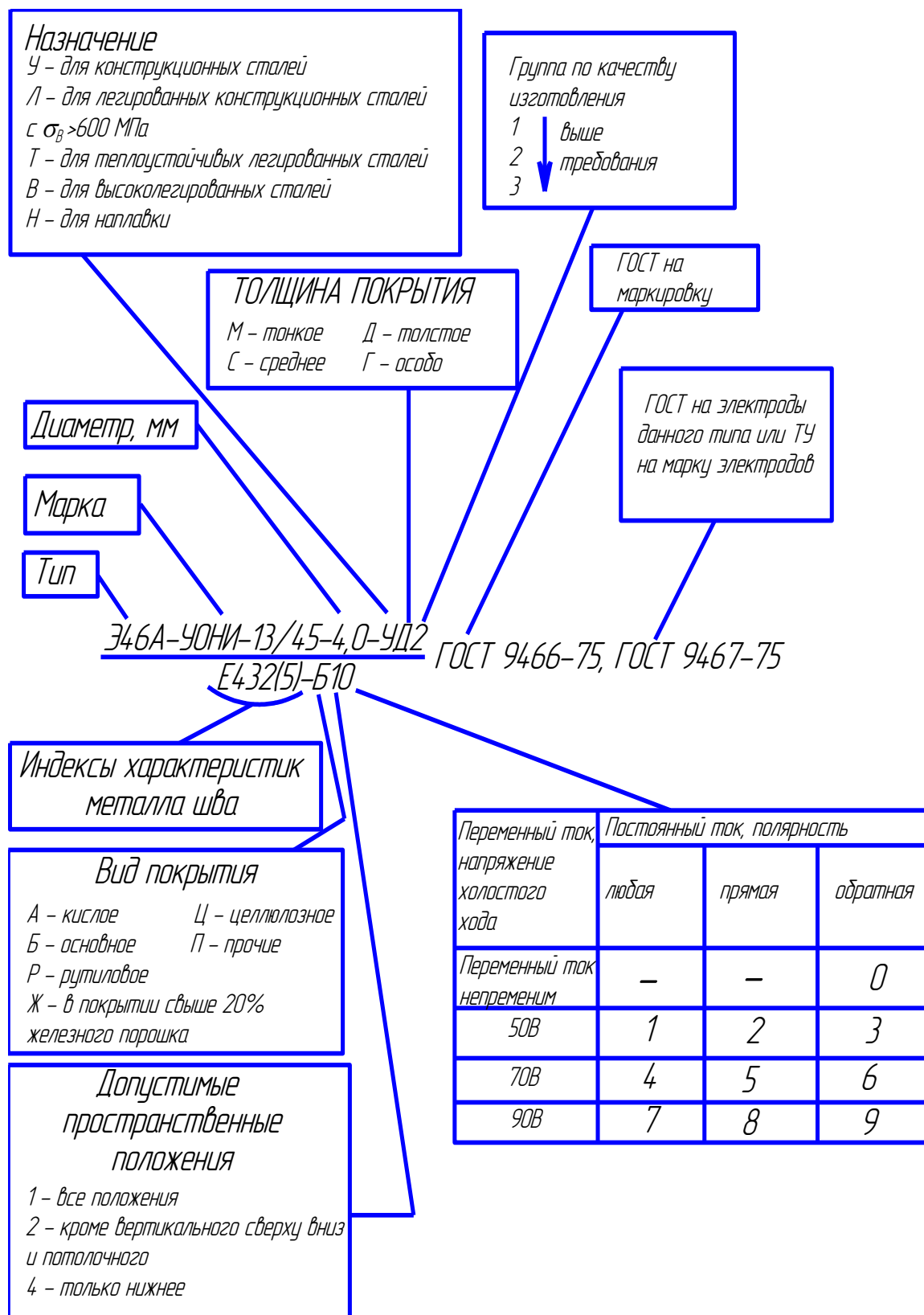


Рис. 2.43. Условное обозначение электродов для сварки и наплавки

Для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых сталей переменным или постоянным током во всех пространственных положениях хорошие результаты дают электроды марки АНО-5 (тип Э42), имеющие коэффициент наплавки 11 г/(А·ч), и марки АНО-6 (коэффициентом наплавки 8,5 г/(А·ч). Для сварки деталей из низкоуглеродистой стали, работающих при динамических нагрузках, применяют электроды марок АНО-3 и АНО-4 (тип Э46) (коэффициент наплавки 8 г/(А·ч). Электроды типа АНО характеризуются устойчивым горением дуги, незначительным разбрызгиванием металла, стойкостью против образования кристаллизационных трещин и легкостью отделения шлаковой корки. Особо следует отметить их низкую токсичность.

Для сварки конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей малых толщин (0,8...3,0 мм) во всех пространственных положениях применяют электроды марки ОМА-2 (тип Э42), стержень из проволоки Св-08 диаметром до 3 мм, ток в пределах 35...65 А.

В настоящее время достаточно большой объем применяемых электродов составляет продукция зарубежных фирм. Данные электроды отличаются высокое качество изготовления и стабильность свойств различных партий материалов. Все свойства покрытых электродов регламентируются стандартами: EN 499 – классификация электродов; ISO 2560 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей; DIN 8555 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей; ISO 3581 – электроды для сварки высоколегированных сталей; AWS A5.1 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей; ISO 3580 – электроды для сварки легированных теплоустойчивых сталей; DIN 1913 – электроды для сварки углеродистых и низколегированных конструкционных сталей.

#### **2.4.3. ФЛЮСЫ ДЛЯ СВАРКИ**

*Сварочным флюсом* (ГОСТ 9087-81) называется неметаллический материал, расплав которого необходим для сварки и улучшения качества шва.

Флюсы, применяемые для механизированной и автоматической сварки, представляют собой крупнообразную зернистую массу, которая при расплавлении образует шлак, покрывающий металл сварочной ванны.

Флюсы служат для защиты наплавляемого металла от воздуха и для легирования металла шва необходимыми присадками. Взаимодействуя в процессе сварки с жидким металлом, расплавленный флюс в

значительной степени определяет химический состав металла, а, следовательно, и его механические свойства. Образуя затем над металлом шва корку шлака, флюс способствует медленному остыванию металла, выходу на поверхность газов и шлаковых включений и тем самым образованию плотного и высококачественного шва. При этом корка шлака легко отделяется от металла шва. Флюс также способствует устойчивому горению дуги и стабильному течению процесса сварки.

По способу изготовления флюсы делятся на плавленные и неплавные.

*Плавные флюсы* являются основными при автоматической сварке металла. Они изготавливаются в соответствии с требованиями ГОСТ 9087-81. Флюсы типов АН-348-А, АН-348-АМ, АН-348-В, АН-348-ВМ, ОСЦ-45, ОСЦ-45М, АН-60, и ФЦ-9 предназначены для сварки и наплавки углеродистых и низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюс марки АН-8 применяют при электрошлаковой сварке углеродистых и низколегированных сталей и сварке низколегированных сталей углеродистой и низколегированной сварочной проволокой. Флюсы марок АН-15М, АН-18, АН-20С, АН-20СМ и АН-20П служат для дуговой автоматической сварки и наплавки высоколегированных сталей и среднелегированных сталей соответствующей сварочной проволоки. Флюс марки АН-22 предназначен для электрошлаковой сварки и дуговой автоматической наплавки и сварки низко- и среднелегированных сталей соответствующей проволокой. Флюсы АН-26С, АН-26СП и АН-26П применяют при автоматической и механизированной сварке нержавеющей, коррозионно-стойких и жаропрочных сталей соответствующей сварочной проволокой. Флюсы марок АН-17М, АН-43 и АН-47 предназначены для дуговой сварки и наплавки углеродистых, низко- и среднелегированных сталей повышенной и высокой прочности соответствующей проволокой.

Нормальные флюсы содержат зерна размером 0,35...3 мм. Флюсы мелкой грануляции содержат зерна размером 0,25...1,0 мм и в обозначении марки имеют конечную букву М. Флюсы, маркируемые буквами АН, разработаны ИЭС им. Е.О. Патона, а флюсы, маркируемые буквами ОСЦ и ФЦ, разработаны ЦНИИТмашем.

Плавные флюсы получают сплавлением его составляющих компонентов. Изготовление флюса включает следующие процессы: размалывание до необходимых размеров сырьевых материалов (марганцевая руда, кварцевый песок, мел, плавиковый шпат, глинозем и др.); перемешивание их в определенных массовых соотношениях; плавка в газопламенных или электродуговых печах; грануляция с целью получения измельченного флюса до определенных размеров зерен. Грануляция про-

изводится выпуском расплава флюса в воду, где он остывает и растрескивается на мелкие частицы. Затем флюс сушат в барабанах или сушильных шкафах и просеивают через сито на фракции. Химический состав (%) плавеных флюсов для автоматической и механизированной сварки приведен в таблице 2.13.

Таблица 2.13

*Химический состав (%) плавеных флюсов для автоматической и механизированной сварки*

Марка	SiO <sub>2</sub>	MnO	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaF	K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не более			
								Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	P	S
1	2	3	4	5	6	7	8	9			
АН-348А	41...44	34...38	Не более 6,5	5,0...7,5	Не более 4,5	4,0...5,5	-	2,0	0,15	0,12	-
ОСЦ-45	38...44	38...44	Не более 6,5	Не более 2,5	Не более 5,0	6,0...9,0	-	2,0	0,15	0,15	-
АН-348-AM	41...44	34...38	Не более 6,5	5,0...7,5	Не более 4,5	6,0...9,0	-	2	0,15	0,10	-
ОСЦ-45М	38...44	38...44	Не более 6,5	Не более 2,5	Не более 5,0	6,0...9,0	-	2	0,15	0,10	-

Окончание табл. 2.13

1	2	3	4	5	6	7	8	9			
АН-60	2,6...46,5	36...41	3,0...11,0	0,5...3,0	Не более 5,0	5,0...8,0	-	1,5	0,15	0,15	-
АН-8	33...36	21...26	4,0...7,0	5,0...7,5	11,0...15,0	13...19	2,0	1,5...3,5	0,15	0,15	-
АН-20С АН-20СМ АН-20П	19...24	Не более 0,5	3,0...9,0	9,0...13,0	27...32	25...33	2,0...3,0	1,0	0,08	0,05	-
АН-22	18,0...21,5	7,0...9,0	12,0...15,0	11,5...15,0	19...23	20...24	1...2	1,0	0,05	0,05	-
АН-26СП АН-26С АН-26П	29...33	2,5...4,0	4,0...8,0	15,0...18,0	19...23	20...24	-	1,5	0,10	0,10	0,05
ФЦ-9	38...41	36...41	Не более 6,5	Не более 2,5	10...13	2,0...3,0	-	2,0	0,10	0,10	-

В состав указанных флюсов в качестве основных компонентов входят марганец в виде оксида марганца (II) и кремний в виде кремнезема. Марганец, обладая большим сродством к кислороду, восстанавливает содержащиеся в наплавляемом металле оксида железа. Кроме того, образуя сульфид  $MnS$ , марганец способствует удалению серы в шлак. При сварке низкоуглеродистых и низколегированных сталей высокомарганцовистые флюсы легируют металл шва. Кремний способствует снижению пористости металла шва, так как подавляет процесс образования оксида углерода, который является одной из основных причин образования пор в наплавленном металле. Кремний также является хо-

рошим раскислителем, но как легирующий элемент при сварке под флюсом имеет ограниченное применение.

*Неплавленные флюсы* представляют собой механическую смесь составляющих его материалов. Их изготавливают следующим образом. Исходные материалы (кремнезем, марганцевая руда, плавиковый шпат, ферросплавы и др.) дробят, измельчают, дозируют и полученную смесь тщательно усредняют. Затем замешивают в строго определенных соотношениях с водным раствором жидкого стекла и, пропустив через гранулятор, получают шарообразные гранулы. Сырые гранулы поступают на сушку и прокалку.

Отсутствие плавки позволяет вводить в состав флюсов различные ферросплавы, металлические порошки, оксиды элементов и другие материалы. Эти вещества, участвуя в металлургических процессах сварки, значительно облегчают широкое легирование и раскисление наплавленного металла; улучшают структуру и снижают вредные примеси в металле шва. При этом используется более простая, не дефицитная сварочная проволока, например, из обычной низкоуглеродистой стали. Недостатком неплавленных флюсов является его большая гигроскопичность, требующая герметичности упаковки и более точного соблюдения режима сварки, так как он оказывает влияние на процесс легирования наплавленного металла. Известны флюсы марок АНК-35 (для сварки низкоуглеродистых сталей низкоуглеродистой проволокой Св-08 и Св-08А), АНК-46 (для сварки низкоуглеродистых и низколегированных сталей), АНК-47 и АНК-30 (для сварки швов высокой хладостойкости), АНК-45 (для сварки высоколегированных сталей), АНК-40, АНК-18, АНК-19 (для наплавочных работ низкоуглеродистой сварочной проволокой Св-08 и Св-08А). При применении наплавочных проволок эти флюсы дают слои наплавленного металла более высокой твердости. ИЭС им. Е.О. Патона разработал флюс марки АНК-3, применяемый как добавка (5...15 %) к флюсам марок АН-348А, ОСЦ-45, АН-60 для повышения стойкости швов против образования пор.

Важным преимуществом неплавленных керамических флюсов является их относительно малая чувствительность к ржавчине, окалине и влаге на поверхности свариваемых кромок деталей по сравнению с плавными флюсами. Это особенно важно при строительно-монтажных работах. Плавные флюсы при сварке дают относительно небольшое количество легирующих примесей (только за счет восстановления из оксидов кремния и марганца). При этом появляются оксиды, способствующие образованию неметаллических включений, ухудшающих механические свойства металла. Поэтому для соответствующего легирования металла шва приходится применять дорогую легиро-

ванную проволоку. Однако высокие технологические свойства плавляемых флюсов (хорошая защита зоны сварки, хорошее формирование валиков, отделимость шлака и др.) и меньшая стоимость обеспечивают значительно широкое применение их в сварочном производстве.

При необходимости получения сварных швов высокого качества по ударной вязкости при низкой температуре, швов, стойких против образования пор и трещин, и некоторых других специальных швов керамические флюсы незаменимы.

Магнитные флюсы относятся также к неплавленным флюсам. По технологии изготовления и применению они аналогичны керамическим флюсам. Кроме веществ, входящих в состав керамических флюсов, магнитный флюс содержит железный порошок, который не только придает ему магнитные свойства, но и способствует повышению производительности сварки. Флюс подается через сопло дозирующим устройством автомата (или полуавтомата). Под действием магнитного поля сварочного тока флюс притягивается к зоне сварки. При этом обеспечивается минимальный расход флюса и возможность качественной сварки вертикальных швов.

#### **2.4.4. ЗАЩИТНЫЕ ГАЗЫ**

Защитные газы делятся на две группы – инертные и активные. Газы первой группы с металлом, нагретыми до расплавленного состояния, не взаимодействуют и практически не растворяются в нем. Газы второй группы защищают зону сварки от воздуха, но сами либо растворяются в жидком металле, либо вступают с ним в химическое взаимодействие.

К инертным газам, используемым при сварке, относятся аргон и гелий. Из активных газов основное значение имеет углекислый газ.

*Аргон* – одноатомный инертный газ без цвета и запаха, тяжелее воздуха. Получают аргон из воздуха, где его содержится 0,935 % (по объему). Аргон поставляется по ГОСТ 10157-79 двух сортов: высшего и первого. Высший сорт содержит 99,992 % аргона, не более 0,006 % азота и не более 0,0007 % кислорода. Первый сорт содержит аргона 99,987 %, азота – до 0,01 % и кислорода – не более 0,002 %. Аргон поставляется и транспортируется для использования в газообразном виде в баллонах типа А (ГОСТ 949-73) под давлением 15 МПа. Баллоны окрашены в серый цвет с зеленой полосой и зеленой надписью «Аргон чистый».

Аргон применяют при сварке ответственных сварных швов и при сварке высоколегированных сталей, титана, алюминия, магния и их сплавов.

*Гелий* – одноатомный инертный газ без цвета и запаха. Газообразный гелий производится по ГОСТ 20461-75 двух сортов: гелий высокой чистоты (99,985 % гелия) и гелий технический (99,8 % гелия).

Транспортируется и поставляется в баллонах типа А при максимальном давлении 15 МПа. Баллоны окрашены в коричневый цвет белой надписью «Гелий». Гелий используют так же, как аргон, но значительно реже ввиду дефицитности и высокой стоимости.

*Углекислый газ CO<sub>2</sub>* (ГОСТ 8050-85) не имеет цвета и запаха. Получают его из газообразных продуктов сгорания антрацита или кокса, при обжиге известняка и т. д. Поставляется в сжиженном (жидком) состоянии в баллоне типа А вместимостью 40 л, в который при максимальном давлении 7,5 МПа вмещается 25 кг углекислоты (при испарении образуется около 12750 л газа). Для целей сварки используют сварочную углекислоту. Чистота углекислоты первого сорта должна быть не менее 99,5 %, а высшего сорта – 99,8 %. Баллоны с углекислотой окрашивают в черный цвет с желтой надписью «CO<sub>2</sub> сварочный». Применяется при сварке низкоуглеродистых и некоторых конструкционных и специальных сталей.

Для снижения влажности углекислого газа рекомендуется установить баллон вентилем вниз и после оттаивания в течение 10...15 мин. осторожно открыть вентиль и выпустить из баллона влагу. Перед сваркой необходимо из нормально установленного баллона выпустить небольшое количество газа, чтобы удалить попавший в баллон воздух. Часть влаги задерживается в углекислоте в виде водяных паров, ухудшая при сварке качество шва.

Кроме того, при выходе из баллона, от резкого расширения происходит снижение температуры углекислоты и влага, отлагаясь в редукторе, забивает каналы и даже полностью закрывает выход газа. Для предупреждения замерзания влаги между баллоном и редуктором устанавливают электрический подогреватель.

Окончательное удаление влаги после редуктора производится специальным осушителем, наполненным прокаленным медным купоросом, хромистым кальцием или другим осушительным веществом.

*Смеси газов для защиты сварочной ванны от неблагоприятного взаимодействия с воздухом.*

Сварка в смеси углекислого газа с кислородом. Используемые смеси содержат обычно 20–40 % O<sub>2</sub>. При сварке может быть получен процесс с крупнокапельным переносом и импульсно-дуговой с частыми короткими замыканиями. Добавление кислорода к углекислому газу незначительно изменяет характер течения процесса. Процесс в основном отличается более высоким окислительным потенциалом защитной сре-



ды и более высокой температурой жидкого металла. Для сварки используют проволоки с повышенным содержанием раскислителей. Формирование шва несколько лучше, чем при сварке в чистом углекислом газе, но поверхность покрыта большим количеством шлака.

Сварка в смеси ( $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ). Наиболее часто используют аргон с добавлением 1–2 % или 3–5 %  $\text{O}_2$ . В обоих случаях могут быть получены те же процессы сварки, что и в чистом аргоне. Процесс с крупнокапельным переносом во многом подобен сварке в аргоне.

Основные закономерности струйного процесса сварки в смеси ( $\text{Ar} + \text{CO}_2$ ) такие же, как и при сварке в чистом аргоне. При сварке в смеси наблюдается некоторое уменьшение тока и диаметра капель и увеличение разбрызгивания. На больших токах наблюдается также узкое проплавление. С увеличением вылета электрода и его подогрева уменьшается как величина  $I_{\text{кз}}$ , так и максимальная сила тока устойчивого течения струйного процесса; увеличивается скорость расплавления электрода и уменьшается величина узкого проплавления. Процесс сварки на прямой полярности отличается очень большим излучением, скорость расплавления проволоки повышается в 1,6 раза; критическая сила тока больше, чем на обратной полярности, а максимальная сила тока стабильного процесса меньше.

Сварка в смеси аргона с углекислым газом. На производстве применяют смеси аргона, содержащие 20–25 %  $\text{CO}_2$  или 50 %  $\text{CO}_2$ , а также смесь аргона с 20 %  $\text{CO}_2$  и 5 %  $\text{O}_2$ . При содержании в смеси до 15 %  $\text{CO}_2$  могут быть получены те же процессы, что и в чистом аргоне. С увеличением содержания углекислого газа повышается напряжение дуги и уменьшается ее длина. При содержании в смеси более 25%  $\text{CO}_2$  процессы сварки становятся близкими к процессам сварки в чистом углекислом газе. Однако только при содержании около 50 %  $\text{CO}_2$  форма провара становится похожей на форму провара в чистом углекислом газе. Сварка в смеси аргона с 20–25 %  $\text{CO}_2$  или с 20 %  $\text{CO}_2$  и 5 %  $\text{O}_2$  обеспечивает лучшее формирование шва и меньшее разбрызгивание, чем сварка в углекислом газе, а по сравнению со сваркой в аргоне получается лучше форма провара и меньшее излучение дуги; кроме того в широком диапазоне силы тока можно получить процесс с частыми короткими замыканиями.

Защитные газовые смеси для сварки плавящимся электродом на основе аргона:

- газовая смесь К-2 (Pureshield P3) – это наиболее универсальная из всех смесей для углеродисто-конструкционных сталей. Состоит из 82% аргона и 18 % двуокиси углерода. Подходит практически для всех типов материалов;

- газовая смесь К-3.2 (Argoshield TC). Смесь состоит из 86% аргона, 12% двуокиси углерода, 2% кислорода. Дает устойчивую дугу с широкой зоной нагрева и хорошим проваром профиля, подходит для глубокого провара, сварки коротких швов и для ручной, автоматической и сварки с применением робота-автомата;
- газовая смесь К-3.3 (Argoshield 20). В эту смесь входит 78 % аргона, 20 % двуокиси углерода, 2 % кислорода, специально разработанная для глубокого провара широкого ассортимента профилей. Смесь хорошо подходит для наплавки и сварки толстых прокатных (сортовых) сталей;
- газовая смесь НП-1 (Helishield H1). Смесь состоит из 85 % гелия, 13,5 % аргона, 1,5 % двуокиси углерода. Данная смесь дает великолепные чистые швы с гладким профилем и незначительное, либо не дает совсем, окисление поверхности. Идеально подходит для тонких материалов, где высокая скорость прохода дает низкий уровень деформации (искривления) металла;
- газовая смесь НП-2 (Helishield H7). В эту смесь входит 55 % гелия, 43 % аргона, 2 % двуокиси углерода. Придает низкий уровень сварочному армированию и обеспечивает высокую скорость сварки. Смесь хорошо подходит для автоматической сварки и для применения роботов-автоматов с использованием широкого спектра толщин свариваемых материалов;
- газовая смесь НП-3 (Helishield H101). Смесь состоит из 38 % гелия, 60 % аргона, 2 % двуокиси углерода. Придает стабильность дуге, что обеспечивает низкий уровень разбрызгивания и снижает вероятность появления дефектов шва. Газовая смесь НП-3 рекомендуется для сварки материалов толщиной свыше 9 мм.

От выбора защитной газовой смеси зависит качество сварки. Так, смеси, содержащие в своем составе гелий, повышают температуру сварочной дуги, что улучшает проплавление сварного шва, увеличивая производительность сварки в целом. В качестве газовой смеси для механизированной сварки в данной работе применяем смесь, содержащую 80 % аргона и 20 % двуокиси углерода.

## **2.5. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА**

### **2.5.1. СУЩНОСТЬ СПОСОБА**

Наибольший объем среди других видов сварки занимает ручная дуговая сварка – сварка плавлением штучными электродами, при которой подача электрода и перемещение дуги вдоль свариваемых кромок про-

изводятся вручную. Схема процесса показана на рисунке 2.44. Дуга горит между стержнем электрода 1 и основным металлом 7. Под действием теплоты дуги электрод и основной металл плавятся, образуя металлическую сварочную ванну 4. Капли жидкого металла 8 с расплавляемого электродного стержня переносятся в ванну через дуговой промежуток. Вместе со стержнем плавится покрытие электрода 2, образуя газовую защиту 3 вокруг дуги и жидкую шлаковую ванну на поверхности расплавленного металла.

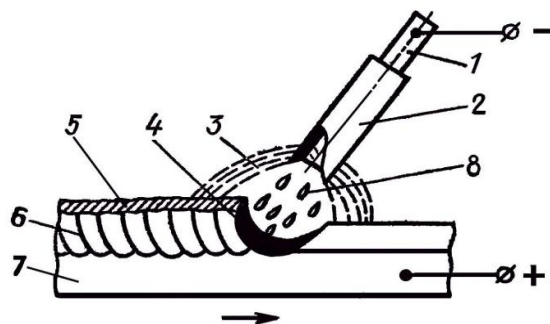


Рис. 2.44. Ручная дуговая сварка металлическим электродом с покрытием (стрелкой указано направление сварки)

Металлическая и шлаковая ванны вместе образуют сварочную ванну. По мере движения дуги металл сварочной ванны затвердевает и образуется сварной шов 6. Жидкий шлак по мере остывания образует на поверхности шва твердую шлаковую корку 5, которая удаляется после остывания шва. Для обеспечения заданного состава и свойств шва сварку выполняют покрытыми электродами, к которым предъявляют специальные требования (см. п. 2.4.2).

Сварочный пост для ручной дуговой сварки оснащается источником питания, токоподводом, необходимыми инструментами, принадлежностями и приспособлениями.

Сварочные посты могут быть стационарными и передвижными. К *стационарным* постам относятся посты, расположенные в цехе, преимущественно в отдельных сварочных кабинах, в которых сваривают изделия небольших размеров. *Передвижные* сварочные посты, как правило, применяют при монтаже крупногабаритных изделий (трубопроводы, металлоконструкции, сосуды) и ремонтных работах. При этом часто используют переносные источники питания.

В зависимости от свариваемых материалов и применяемых электродов для ручной дуговой сварки применяют источники переменного или постоянного тока с крутопадающей характеристикой.

Основным рабочим инструментом сварщика при ручной сварке служит электрододержатель, который предназначен для зажима элект-

труда и подвода сварочного тока.

Для подвода тока от источника питания к электродержателю и изделию используют сварочные провода. Сечения проводов выбирают по установленным нормативам для электротехнических установок ( $5\text{--}7 \text{ А/мм}^2$ ). К вспомогательным инструментам для ручной сварки относятся стальные проволочные щетки для зачистки кромок перед сваркой и для удаления с поверхности швов остатков шлака, молоток-шлакоотделитель для удаления шлаковой корки, особенно с угловых и корневых швов в глубокой разделке, зубило, набор шаблонов для проверки размеров швов, стальное клеймо для клеймения швов, метр, стальная линейка, отвес, угольник, чертилка, мел, а также ящик для хранения и переноски инструмента.

### **2.5.2. ВЫБОР РЕЖИМА РУЧНОЙ ДУГОВОЙ СВАРКИ**

Для выполнения сварного шва прежде всего определяют режим сварки, обеспечивающий хорошее качество сварного соединения, установленные размеры и форму при минимальных затратах материалов, электроэнергии и труда.

Режимом сварки называется совокупность параметров, определяющих процесс сварки: вид тока, диаметр электрода, напряжение и значение сварочного тока, скорость перемещения электрода вдоль шва и др.

Основными параметрами режима ручной дуговой сварки являются диаметр электрода и сварочный ток. Остальные параметры выбирают в зависимости от марки электрода, положения свариваемого шва в пространстве, вида оборудования и др.

Диаметр электрода устанавливают в зависимости от толщины свариваемых кромок, вида сварного соединения и размеров шва. Для стыковых соединений приняты практические рекомендации по выбору диаметра электрода  $d$  в зависимости от толщины свариваемых кромок  $s$ :

$s$ , мм . . . .	<2	3...5	6...8	9...12	3...15	16...20	>20
$d$ , мм . . . .	<2	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8	8...10

При выполнении угловых и тавровых соединений принимают во внимание размер катета шва. При катете шва 3...5 мм сварку производят электродом диаметром 3...4 мм; при катете 6...8 мм применяют электроды диаметром 4...5 мм. При многопроходной сварке швов стыковых соединений первый проход выполняют электродом диаметром не более 4 мм. Это необходимо для хорошего провара корня шва в глубине разделки.

По выбранному диаметру электрода устанавливают значение сварочного тока. Обычно для каждой марки электродов значение тока указано на заводской этикетке, но можно также определить по следующим формулам:

$$I = (40...50)d_э \text{ при } d_э = 4...6 \text{ мм};$$
$$I = (20 + 6d_э)d_э \text{ при } d_э < 4 \text{ мм и } d_э > 6 \text{ мм},$$

где  $I$  – значение сварочного тока, А;  $d_э$ , – диаметр электрода, мм.

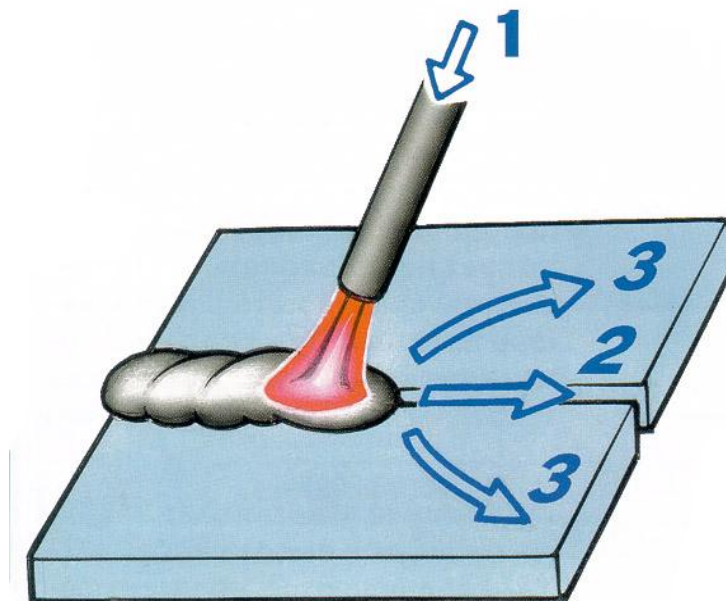
Полученное значение сварочного тока корректируют, учитывая толщину металла и положение свариваемого шва. При толщине кромок менее  $(1,3...1,6) d_э$  расчетное значение сварочного тока уменьшают на 10...15 %, при толщине кромок  $> 3d_э$  – увеличивают на 10...15 %. Сварку вертикальных и потолочных швов выполняют сварочным током, на 10...15 % уменьшенным против расчетного.

Сварочную дугу возбуждают двумя приемами. Можно коснуться свариваемого изделия торцом электрода и затем отвести электрод от поверхности изделия на 3...4 мм, поддерживая горение образовавшейся дуги. Можно также быстрым боковым движением коснуться свариваемого изделия и затем отвести электрод от поверхности изделия на такое же расстояние (по методу зажигания спички). Прикосновение электрода к изделию должно быть кратковременным, так как иначе он приваривается к изделию, т.е. «примерзает». Отрывать «примерзший» электрод следует резким поворачиванием его вправо и влево.

Длина дуги значительно влияет на качество сварки. Короткая дуга горит устойчиво и спокойно. Она обеспечивает получение шва высокого качества, так как расплавленный металл электрода быстро проходит дуговой промежуток и меньше подвергается окислению и азотированию. Но слишком короткая дуга вызывает «примерзание» электрода, дуга прерывается, нарушается процесс сварки. Длинная дуга горит неустойчиво с характерным шипением. Глубина проплавления недостаточная, расплавленный металл электрода разбрызгивается и больше окисляется и азотируется. Шов получается бесформенным, а металл шва содержит большое количество окислов. Для электродов с толстым покрытием длина дуги указывается в паспортах.

В процессе сварки электроду сообщаются движения, показанные на рисунке 2.45: 1 – по направлению оси электрода в зону дуги. Скорость движения должна соответствовать скорости плавления электрода, чтобы сохранить постоянство длины дуги; 2 – вдоль линии свариваемого шва. Скорость перемещения не должна быть большой, так как металл электрода не успевает сплавиться с основным металлом (непровар). При малой ско-

рости перемещения возможны перегрев и пережог металла; шов получается широкий, толстый, производительность сварки низкая; 3 – поперечные колебательные движения применяют для получения уширенного валика шириной равной  $(3...4) d_z$ . Поперечные движения замедляют остывание наплавляемого металла, облегчают выход газов и шлаков и способствуют наилучшему сплавлению основного и электродного металла и получению высококачественного шва. Образующийся в конце наплавки валика кратер необходимо тщательно заварить.



*Рис. 2.45. Движение электрода в процессе сварки: 1 – поступательное (вдоль оси электрода); 2 – прямолинейное (вдоль оси шва); 3 – колебательные (поперек оси шва)*

### **2.5.3. ТЕХНИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ШВОВ**

Техника выполнения сварных швов зависит от вида и пространственного положения шва.

Нижние швы наиболее удобны для выполнения, так как расплавленный металл электрода под действием силы тяжести стекает в кратер и не вытекает из сварочной ванны, а газы и шлак выходят на поверхность металла. Поэтому по возможности следует вести сварку в нижнем положении. Стыковые швы без скоса кромок выполняют наплавкой вдоль шва валика с небольшим уширением. Необходимо хорошее проплавление свариваемых кромок. Шов делают с усилением (выпуклость шва до 2 мм). После проварки шва с одной стороны изделие переворачивают и, тщательно очистив от подтеков и шлака, заваривают шов с другой стороны. Сварку стыковых швов с V-образной разделкой при

толщине кромок до 8 мм производят в один слой, а при большей толщине – в два слоя и более.

Первый слой наплавляют высотой 3...5 мм электродом, диаметр которого 3...4 мм. Последующие слои выполняют электродом диаметром 4...5 мм. Перед наплавкой очередного слоя необходимо тщательно очистить металлической щеткой разделку шва от шлака и брызг металла. После заполнения всей разделки шва изделие переворачивают и выбирают небольшую канавку в корне шва, которую затем аккуратно заваривают. При невозможности подварить шов с обратной стороны следует особенно аккуратно проварить первый слой. Стыковые швы с Х-образной разделкой выполняют аналогично многослойным швом с обеих сторон разделки. Угловые швы в нижнем положении лучше выполнять в положении «лодочка» (рис. 2.46, а). Если изделие не может быть так установлено, необходимо особенно тщательно обеспечить хороший провар корня шва и свариваемых кромок. Сварку следует начинать с поверхности нижней кромки и затем переходить через разделку шва на вертикальную кромку, как показано на рисунке 2.46, б. При наложении многослойного шва первый валик выполняют ниточным швом электродом с диаметром 3...4 мм. При этом необходимо обеспечить хороший провар корня шва. Затем после зачистки разделки наплавляют последующие слои.

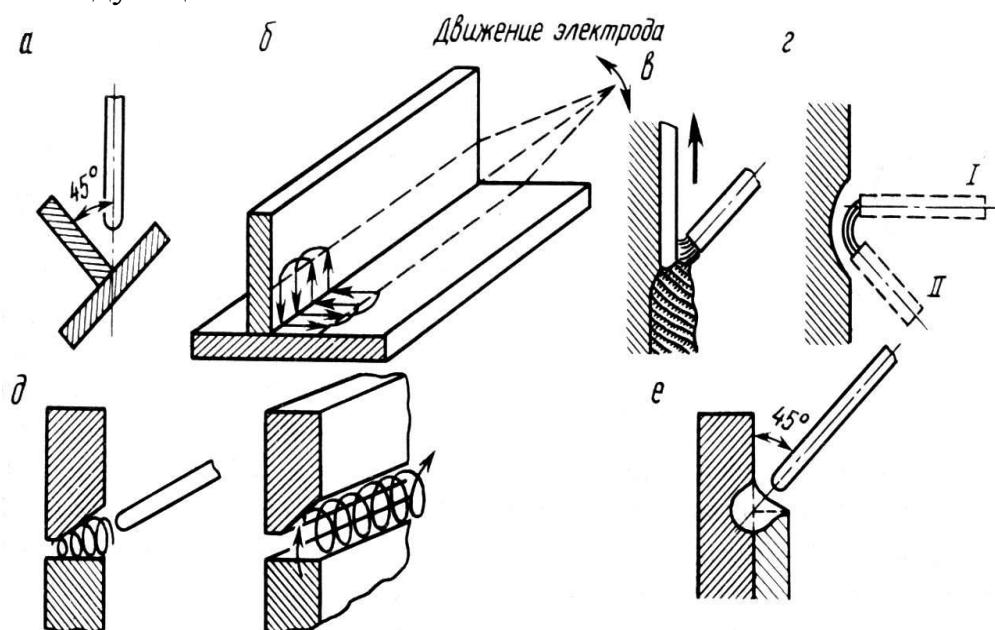


Рис. 2.46. Техника выполнения швов

Вертикальные швы менее удобно сваривать, так как сила тяжести увлекает капли электродного металла вниз. Вертикальные швы следует выполнять короткой дугой и снизу вверх (рис. 2.46, в). При этом капли

металла легче переходят в шов, а образующийся кратер в виде полочки удерживает очередные капли металла от стекания вниз. Сварку можно вести и сверху вниз. При этом дугу следует зажигать при положении электрода, перпендикулярном плоскости изделия (рис. 2.46, *з*). После образования первых капель металла электрод наклоняют вниз и сварку выполняют возможно короткой дугой. Рекомендуется применять электроды диаметром 4...5 мм при несколько пониженном сварочном токе (150–170 А).

Горизонтальные швы выполняют при разделке кромок со скосом у верхнего листа (рис. 2.46, *д*). Дугу возбуждают на нижней кромке и затем переводят на поверхность скоса и обратно. Сварку выполняют электродом диаметром 4...5 мм. Горизонтальные нахлесточные швы (рис. 2.46, *е*) выполняются легче, так как нижняя кромка образует полочку, удерживающую капли расплавленного металла.

Потолочные швы наиболее трудно выполнимы и поэтому требуют высокой квалификации сварщика. Применяют электроды диаметром не более 5 мм при уменьшенном значении сварочного тока. Следует применять тугоплавкое покрытие электрода, образующее «чехольчик», в котором удерживается расплавленный металл электрода. Дуга должна быть как можно короче для облегчения перехода капель металла электрода в кратер шва.

Выбор способа и порядка выполнения сварных швов зависит главным образом от толщины металла и протяженности шва. При сварке тонколистовой стали необходимо строгое соблюдение техники выполнения сварных швов. Особую опасность представляют сквозные прожоги и проплавление металла.

Сталь толщиной 0,5...1,0 мм следует сваривать внахлестку с проплавлением через верхний лист (рис. 2.47, *а*) или встык с укладкой между свариваемыми кромками стальной полосы (рис. 2.47, *б*). Во втором случае расплавление кромок должно происходить при косвенном воздействии дуги. Рекомендуются следующие режимы сварки (табл. 2.14).

Таблица 2.14

*Режимы сварки*

Толщина металла, мм	0,5	1,0	1,5	2,0	2,1
Диаметр электрода, мм	1,0	1,6...2,0	2,0	2,5	3,0
Сварочный ток, А	10...20	25...35	40...50	50...70	60..90



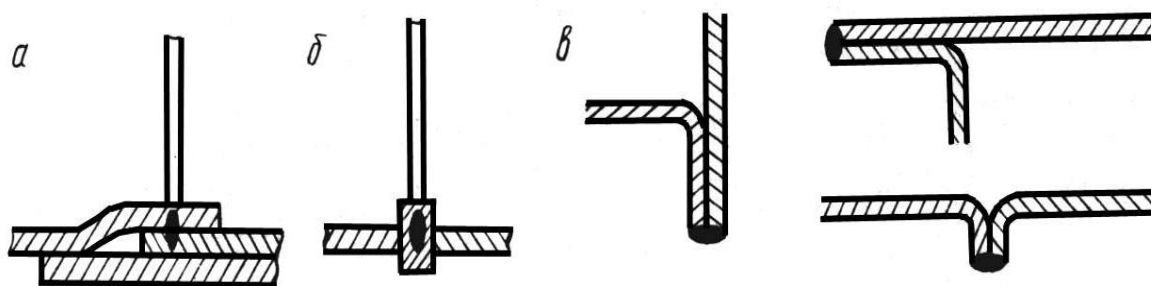


Рис. 2.47. Техника сварки тонколистовой стали

Сварку ведут на массивных теплоотводящих медных подкладках. Такой способ теплоотвода предохраняет металл от сквозного прожога и способствует хорошему формированию шва. Тонколистовую сталь можно сваривать с отбортовкой кромок (рис. 2.47, в). Сварку производят постоянным током неплавящимся электродом (угольным или графитовым) диаметром 6...10 мм при значении сварочного тока 120...160 А.

Металл большой толщины сваривают в несколько проходов. Разделка кромок может быть заполнена слоями или валиками. При толщине металла 15...20 мм сварку выполняют секциями способом двойного слоя (рис. 2.48, а). Шов разбивают на участки длиной 250...300 мм и каждый участок заваривают двойным слоем. Наложение второго слоя производят после удаления шлака по неостывшему первому слою. При толщине металла 20...25 мм и более применяют сварку каскадом или сварку горкой. Каскадный способ заключается в следующем. Весь шов разбивают на участки и сварку ведут непрерывно. Окончив сварку слоя на первом участке, продолжают выполнение следующего слоя второго участка по неостывшему предыдущему слою (рис. 2.48, б). Сварка горкой является разновидностью сварки каскадом и обычно выполняется двумя сварщиками одновременно. Сварка горкой ведется от середины шва к краям (рис. 2.48, в). Такие способы сварки обеспечивают более равномерное распределение температуры и значительное снижение сварочных деформаций.

Способы выполнения сварных швов по длине зависят от их протяженности. Условно принято различать короткие швы длиной до 250 мм, средние швы длиной 250...1000 мм и длинные швы протяженностью более 1000 мм. Короткие швы выполняют сваркой на проход (рис. 2.49, а). Швы средней длины сваривают либо от середины к краям (рис. 2.49, б), либо, так называемым, обратноступенчатым способом (рис. 2.49, в).

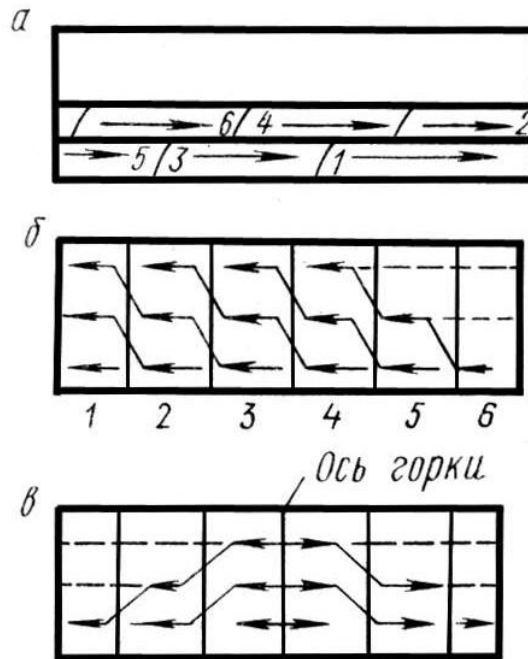


Рис. 2.48. Техника заполнения разделки

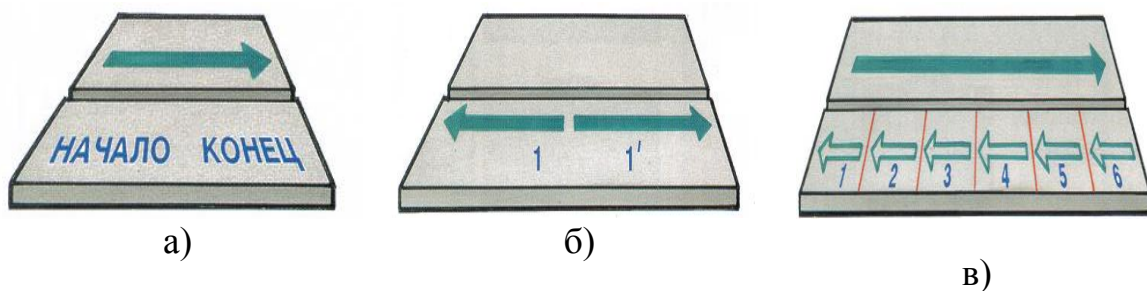


Рис. 2.49. Способы выполнения сварных швов по длине

Обратноступенчатый способ заключается в том, что весь шов разбивают на участки и сварку участка производят в направлении, обратном общему направлению сварки шва. Конец каждого участка совпадает с началом предыдущего участка. Длина участка выбирается в пределах 100...300 мм в зависимости от толщины металла и жесткости свариваемой конструкции. Длинные швы сваривают обратноступенчатым способом.

Сварка при низких температурах отличается следующими основными особенностями. Стали изменяют свои механические свойства, понижается ударная вязкость и уменьшается угол загиба, ухудшаются пластические свойства и несколько повышается хрупкость, а отсюда склонность к образованию трещин. Это особенно заметно у сталей, содержащих углерод более 0,3 %, а также у легированных сталей, склонных к закалке. Металл сварочной ванны охлаждается значительно быст-

рее, а это приводит к повышенному содержанию газов и шлаковых включений и, как следствие, – к снижению механических свойств металла шва. В связи с этим установлены следующие ограничения сварочных работ при низкой температуре. Сварка металла толщиной более 40 мм при температуре 0 °С допускается только с подогревом. Подогрев необходим для сталей толщиной 30...40 мм при температуре ниже – 10 °С; для сталей толщиной 16...30 мм при температуре ниже – 20 °С и для сталей толщиной менее 16 мм при температуре ниже – 30 °С.

Для подогрева металла применяют горелки, индукционные печи и другие нагревательные устройства. Сварку производят электродами типов Э42А, Э46А, Э50А, обеспечивающими высокую пластичность и вязкость металла шва. Значение тока на 15...20 % выше нормального. Рабочее место должно быть защищено от ветра и снега.

#### 2.5.4. ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ СВАРКИ

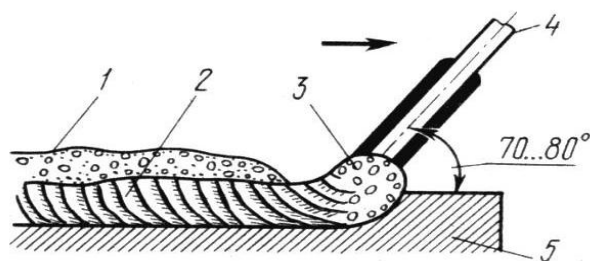


Рис. 2.50. Сварка с глубоким проплавлением

*Сварка с глубоким проплавлением (метод опирания).* Для получения глубокого проплавления используют электрод 4 с утолщенным покрытием (рис. 2.50). Стержень электрода плавится быстрее покрытия, поэтому на конце электрода образуется «чехольчик». Опираясь этим чехольчиком на кромки свариваемого изделия, перемещают электрод вдоль шва 3 без колебательных движений (1 – шлак, 2 – металл шва, 5 – основной металл). Для получения узких швов рекомендуется усиливать нажим на электрод в направлении сварки, а для получения широких швов нажим необходимо ослаблять.

Такой метод обеспечивает повышение производительности и сварки на 50...70 % за счет уменьшения расхода наплавляемого металла на единицу длины шва. Короткая дуга и большая концентрация теплоты значительно увеличивают глубину проплавления основного металла. В закрытой чехольчиком зоне дуги потери металла на угар и разбрызгивание минимальные. Сварочный ток может быть повышен на 40...60 % по сравнению с нормальным. Метод особенно эффективен при сварке угловых и тавровых соединений в нижнем положении или «в лодочку».

Сварка таким методом не требует высокой квалификации и легко осваивается сварщиком.

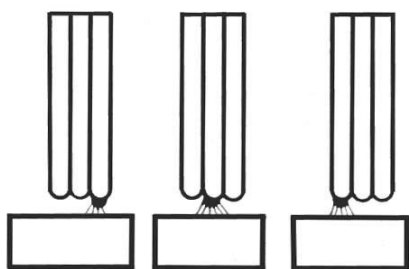


Рис. 2.51. Сварка пучком электродов

*Сварка пучков электродов.* Два или несколько электродов с качественным покрытием связывают в двух-трех местах по длине тонкой проволокой, а оголенные от покрытия концы прихватывают сваркой (рис. 2.51).

Через электрододержатель ток подводится одновременно ко всем электродам. Дуга возбуждается на том электроде, который ближе к свариваемому изделию.

По мере плавления дуга переходит от одного электрода к другому. При таком методе электрод нагревается значительно меньше, что позволяет работать при больших токах. Например, при трех электродах диаметром 3 мм допустимый сварочный ток достигает 300 А. Потери металла на угар и разбрызгивание не возрастают. При этом производительность сварки повышается в 1,5...2 раза. Коэффициент наплавки электродов увеличивается, так как стержни электродов все время подогреваются теплотой дуги. Однако пучком электродов невозможно обеспечить хороший провар корня разделки шва. Поэтому приходится предварительно одиночным электродом проваривать корень разделки и затем производить сварку шва пучком электродов. Этот метод дает высокую производительность при наплавочных работах.

*Сварка трехфазной дугой.* Сварка осуществляется двумя электродами, изолированными друг от друга (рис. 2.52, а). К электрододержателю подводятся две фазы источника тока, а третья фаза подводится к свариваемому изделию. Возбуждаются и одновременно горят три сварочные дуги: по одной между каждым электродом и изделием и третья между электродами. Такая схема значительно повышает устойчивость горения дуги, улучшает степень использования теплоты дуги и позволяет снизить напряжение холостого хода.

При сварке трехфазной дугой применяют также следующие схемы: сварку двумя одинарными электрододержателями (рис. 2.52, б); сварку одним одинарным электрододержателем и вторым электродом, уложенным в разделку шва, но изолированным от свариваемого изделия (рис. 2.52, в); сварку пучком электродов, из которых только два токоведущие, а остальные холостые (т. е. не включены в сварочную цепь и расплавляются от теплоты дуги). Сварка трехфазной дугой применима при любых соединениях в нижнем и наклонном положениях. Такой ме-

тод особенно рекомендуют для сварки в нижнем положении и «в лодочку» угловых и тавровых соединений.

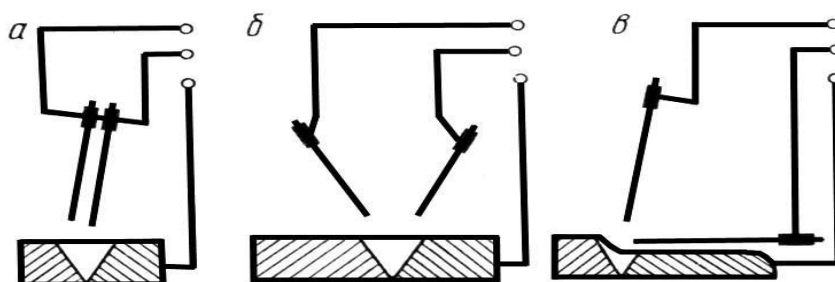


Рис. 2.52. Сварка трехфазной дугой

*Сварка ваннным способом.* Ваннный способ применяют при сварке стыков арматуры железобетонных конструкций (рис. 2.53, а).

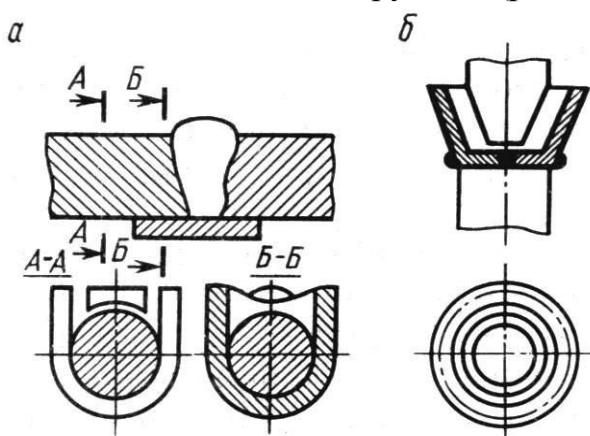


Рис. 2.53. Сварка ваннным способом

Сущность способа заключается в следующем: к стержням арматуры в месте стыка приваривают стальную форму, в которой теплотой дуги создают ванну расплавленного металла, непрерывно подогреваемую дугой. От теплоты металла ванны плавятся торцы свариваемых стержней, образуется общая ванна металла шва и затем при остывании – сварное соединение. При сварке вертикальных швов в качестве формирующей детали применяют штампованную форму из листовой стали (рис. 2.53, б), которую приваривают к нижнему стержню. Затем прихватывают конец верхнего стержня к нижнему и переходят к заполнению формы наплавляемым металлом. Для выпуска шлака прожигают электродом отверстия в стенке формы, которые затем заваривают. Процесс сварки ведут при больших токах. Например, для электродов диаметром 5...6 мм значение сварочного тока достигает 400...450А. Сварку при низких температурах выполняют током, выше установленного на

10...12 %. Зазор между торцами свариваемых стержней должен быть не менее удвоенного диаметра электрода. Сварку можно выполнять одним или несколькими электродами одновременно. Ванный способ значительно уменьшает расход электродов и электроэнергии, снижает трудоемкость и себестоимость сварочных работ.

#### **2.5.5. ДЕФОРМАЦИИ И НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ СВАРКЕ**

Сварочные деформации и напряжения являются следствием многих причин. Они значительно снижают механическую прочность сварных конструкций. Для получения сварных конструкций высокой прочности необходимо прежде всего выбрать наиболее рациональное размещение сварных швов, используя оптимальную технологию их выполнения. Количество сварных швов, их протяженность и сечение должны быть минимальными в соответствии с прочностным расчетом конструкции. Не рекомендуются перекрещивающиеся швы. Симметричное расположение швов значительно снижает деформацию конструкции. Стыковые швы более желательны, чем угловые. Швы должны быть удобно выполнимые. Основными причинами возникновения сварочных деформаций и напряжений являются неравномерное нагревание и охлаждение изделия, литейная усадка наплавленного металла и структурные превращения в металле шва.

Неравномерное нагревание и охлаждение вызывают, так называемые, *тепловые напряжения и деформации*. При сварке происходит местный нагрев небольшого объема металла, который при расширении воздействует на близлежащие менее нагретые слои металла. Напряжения, возникающие при этом, зависят главным образом от температуры нагрева, коэффициента линейного расширения и теплопроводности свариваемого металла. Чем выше температура нагрева, а также чем больше коэффициент линейного расширения и ниже теплопроводность металла, тем больше тепловые напряжения и деформации, развиваемые в свариваемом шве.

Литейная усадка вызывает напряжения в сварном шве в связи с тем, что при охлаждении объем наплавленного металла уменьшается. Вследствие этого в близлежащих слоях металла возникают растягивающие усилия, являющиеся причиной образования напряжений и деформаций в металле. При этом, чем меньше количество расплавленного металла, тем меньше значения возникающих напряжений и деформаций.

Структурные превращения вызывают растягивающие и сжимающие напряжения в связи с тем, что они в некоторых случаях сопровож-

даются изменениями объема свариваемого металла. Например, у углеродистых сталей при нагреве происходит образование аустенита из феррита. Этот процесс сопровождается некоторым уменьшением объема. При больших скоростях охлаждения металла шва у высокоуглеродистых сталей аустенит образует мартенситную структуру, менее плотную, чем аустенит. Это сопровождается увеличением объема наплавленного металла. При сварке низкоуглеродистой стали напряжения, возникающие от структурных превращений, небольшие и практического значения не имеют. Стали, содержащие более 0,35 % углерода, и большинство склонных к закалке легированных сталей дают значительные объемные изменения от структурных превращений. Вследствие этого развиваемые напряжения оказываются достаточными для возникновения трещин в шве.

Внутренние напряжения, возникающие от указанных выше причин, уменьшают прочность сварной конструкции. Кроме того, если сварной шов нагружен внешними усилиями, то внутренние напряжения, накладываясь на напряжения от внешних усилий, снижают запас прочности конструкции, а в некоторых случаях могут вызвать ее разрушение.

Для уменьшения внутренних напряжений и деформаций, возникающих при сварке, рекомендуется ряд технологических мер и приемов наложения сварных швов. Важное значение имеют правильный выбор конструкции изделия, расположение сварных швов, последовательность их выполнения и режимы сварки.

Уменьшения внутренних напряжений достигают следующими мерами. Длинные швы выполняют обратноступенчатым способом на проход (рис. 2.54, *а*). Многослойная сварка выполняется каскадным способом или горкой. При этом хорошие результаты дает послойная проковка шва (кроме первого и последнего слоя). Швы накладывают с таким расчетом, чтобы последующий шов вызывал деформации, обратные возникшим от предыдущего шва (рис. 2.54, *б*, *в*). Последовательность выполнения швов должна допускать свободную деформацию элементов конструкций. Например, при сварке настила из нескольких листов следует в первую очередь выполнить швы, соединяющие листы полос, и лишь затем швы, соединяющие эти полосы между собой.

Для вязких металлов могут быть рекомендованы способы сварки, значительно снижающие остаточные деформации. Например, закрепление элементов свариваемой конструкции в сборочно-сварочных приспособлениях (сборка, сварка и остывание изделия). Широко применяется на практике способ, заключающийся в интенсивном отводе теплоты. Например, частичным погружением изделия в воду, охлаждением струей воды, применением различных отводящих теплоту медных подкладок.

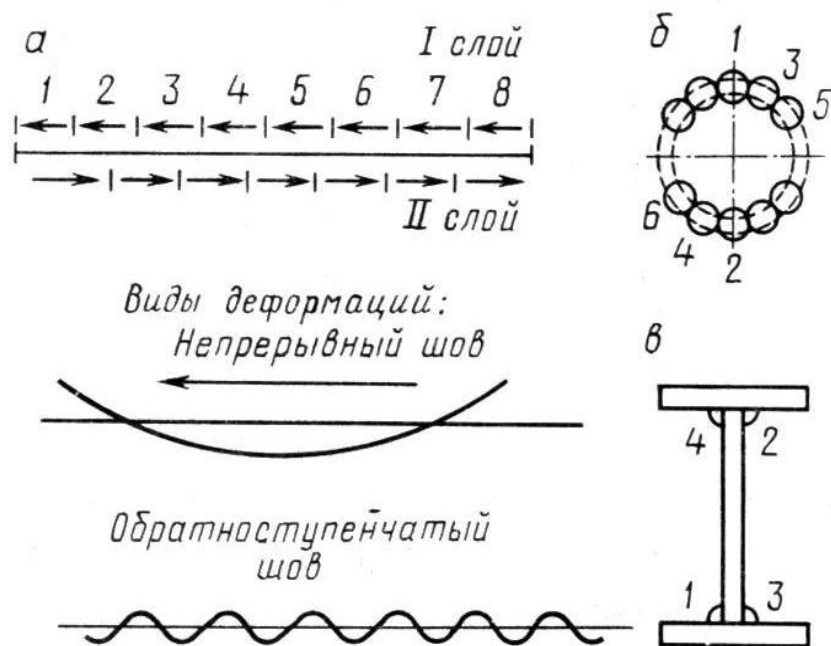


Рис. 2.54. Способы снижения внутренних напряжений

У сталей, склонных к образованию закалочных структур, резкое охлаждение сваренного шва и околошовной зоны вызывает значительные внутренние напряжения и даже появление трещин в наплавленном металле. Для уменьшения разности температур в изделии и обеспечения медленного охлаждения применяют предварительный подогрев изделия. При сварке в условиях низких температур такой подогрев обязателен даже для низкоуглеродистых сталей.

Для снятия внутренних напряжений иногда применяют термическую обработку сварных изделий, главным образом отжиг или нормализацию. Отжиг применяют полный или низкотемпературный. Полный отжиг заключается в нагреве изделия из стали до температуры 800...950 °С, выдержке при этой температуре и последующем медленном охлаждении вместе с печью. В результате такой обработки пластичность и вязкость наплавленного металла и металла зоны термического влияния возрастают, а твердость металла снижается. При этом в сварном изделии полностью снимаются внутренние напряжения. Низкотемпературный отжиг (или высокий отпуск) заключается в нагреве сварного изделия до температуры 600...650 °С, выдержке при этой температуре и последующем охлаждении вместе с печью. Так как температура нагрева ниже критической, то структурные изменения в металле не происходят. При меньших температурах нагрева сварочные напряжения снимаются частично.

Нормализация производится нагревом изделия до температуры на



30...40 °С выше критической, выдержкой при этой температуре и охлаждением на воздухе (т. е. с несколько большей скоростью, чем при отжиге). Такая обработка является наилучшей для сварных изделий, так как не только снимает внутренние напряжения, но позволяет получить мелкозернистую структуру металла. Особенно следует рекомендовать нормализацию для сварных изделий из низкоуглеродистых сталей, содержащих углерода менее 0,25 %. Для термообработки крупногабаритных сварных изделий применяются специальные мощные термопечи.

## **2.6. СВАРКА ПОД ФЛЮСОМ**

### **2.6.1. СУЩНОСТЬ, ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ**

Сварка под флюсом – дуговая сварка, при которой дуга горит под слоем сварочного флюса, обеспечивающего защиту сварочной ванны от воздуха. Наряду с защитой флюс стабилизирует дугу, обеспечивает раскисление, легирование и рафинирование расплавленного металла сварочной ванны.

По степени механизации процесса различают автоматическую и механизированную сварку под флюсом. В большинстве случаев используется автоматический процесс. Механизированная сварка под флюсом применяется в значительно меньшем объеме, чем автоматическая.

Схема процесса автоматической сварки под флюсом приведена на рис. 2.55. Электродная проволока автоматически подается в зону сварки. Дуга горит между концом электрода 4 и изделием 2 под слоем сварочного флюса 6, подаваемого на изделие из бункера 3. Под действием теплоты, выделяемой сварочной дугой, плавится электродная проволока и основной металл, а также часть флюса, находящегося в зоне дуги. В области горения дуги образуется полость, ограниченная в верхней части оболочкой расплавленного флюса 7. Эта полость заполнена парами металла, флюса и газами, их давление поддерживает флюсовый свод, образующийся над сварочной ванной. Дуга 5 горит в непосредственной близости от переднего края ванны, несколько отклоняясь от вертикального положения в сторону, обратную направлению сварки. Под влиянием давления дуги жидкий металл также оттесняется в сторону, противоположную направлению сварки, образуя сварочную ванну 8. Под электродом создается кратер с тонким слоем расплавленного металла, а основная масса расплавленного металла занимает пространство от кратера до поверхности шва 12. Расплавленный флюс 7 вследствие значительно меньшей плотности всплывает на поверхность расплавленного металла шва и покрывает его плотным слоем.

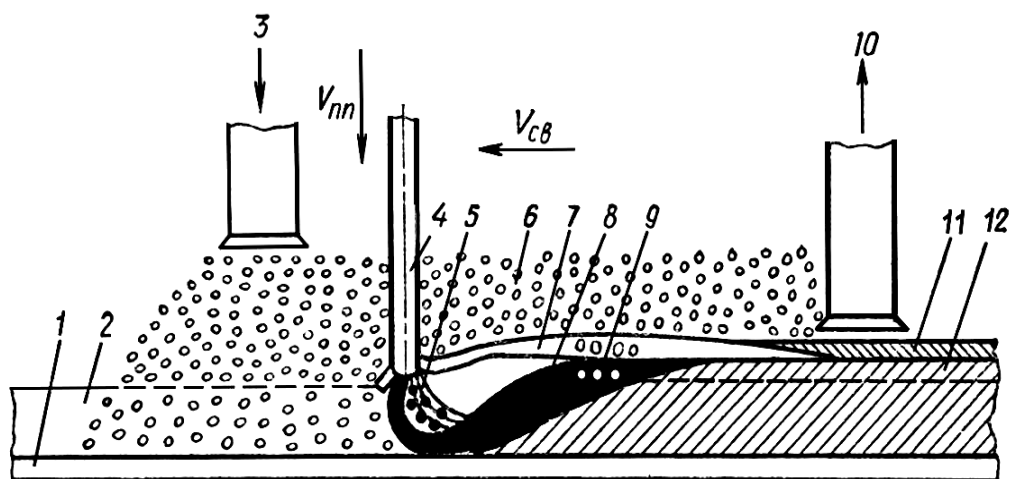


Рис. 2.55. Схема автоматической сварки под флюсом

Флюс защищает дугу и сварочную ванну от вредного воздействия окружающей среды, оказывает металлургическое воздействие на металл сварочной ванны и, кроме того, препятствует разбрызгиванию жидкого металла. Расплавленный флюс, обладая низкой теплопроводностью, замедляет процесс охлаждения шва, что облегчает возможность шлаковым включениям и растворенным в металле газам 9 подняться на поверхность ванны, способствуя очищению металла шва от загрязнений. Нерасплавленный в процессе сварки избыточный флюс пневматическим устройством 10 отсасывают со шва и используют в дальнейшем при последующей сварке. Расплавленная и затвердевшая часть флюса образует на шве толстую шлаковую корку 11. После прекращения сварки и охлаждения металла шлаковая корка легко отделяется от металла шва 12. Сварку обычно проводят на подкладке 1 или флюсовой подушке.

Преимуществами сварки под флюсом являются:

- высокая производительность благодаря применению больших токов, большой глубины проплавления, а также почти полного отсутствия потерь металла на угар и разбрызгивание;
- механизация процесса сварки;
- высокое качество сварных швов за счет хорошей защиты флюсом сварочной ванны от воздуха;
- улучшение условий труда сварщиков.

Недостатками сварки под флюсом является возможность сварки только в нижнем положении (наклон до  $15^\circ$ ), трудность применения в монтажных условиях, на коротких швах, невозможность наблюдения за процессом формирования шва.

При сварке под флюсом производительность процесса по машинному времени повышается в 6–12 раз по сравнению с ручной дуговой

сваркой. При сварке на специальных, так называемых, форсированных режимах, применяемых при изготовлении труб большого диаметра и широкополых двутавровых балок, производительность повышается в 15–20 раз. Повышение производительности при автоматической сварке под флюсом достигается за счет использования больших токов и повышения плотности тока в электроде. Резкое повышение абсолютной величины тока и его плотности в электроде возможно благодаря наличию плотного слоя флюса вокруг зоны сварки. Это предотвращает выдувание жидкого металла шва из сварочной ванны и сводит потери на угар и разбрызгивание до 1–3 %. Увеличение тока позволяет сваривать металл значительной толщины без разделки кромок с одной или двух сторон и увеличивать количество металла, наплавляемого в единицу времени. Коэффициент наплавки при сварке под флюсом составляет 14–18 г/(А·ч) и более против 8–12 г/(А·ч) при сварке покрытыми электродами.

При сварке под флюсом обеспечивается высокое и стабильное качество сварных швов. Это достигается за счет надежной защиты металла шва от воздействия кислорода и азота воздуха, однородности металла шва по химическому составу, улучшения формы шва и сохранения постоянства его размеров. Одновременно обеспечивается меньшая вероятность образования непроваров, подрезов и других дефектов формирования шва и отсутствие перерывов в процессе сварки, вызываемых сменой электродов.

Автоматическую и механизированную сварку под флюсом применяют в заводских и монтажных условиях для сварки в нижнем положении металла толщиной 2–100 мм. Сваривают стали различного состава, медь, титан, алюминий и сплавы на их основе.

### **2.6.2. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ**

По степени механизации отдельных операций дуговая сварка может быть автоматической и механизированной. *Автоматической* принято называть сварку или наплавку с механизированным возбуждением и поддержанием дугового процесса, механизированной подачей сварочных материалов в зону плавления и механизированным перемещением дуги вдоль линии сварного соединения.

*Механизированной* принято называть сварку или наплавку с механизированной подачей проволоки и других сварочных материалов в зону плавления и ручным перемещением дуги вдоль линии сварного соединения.

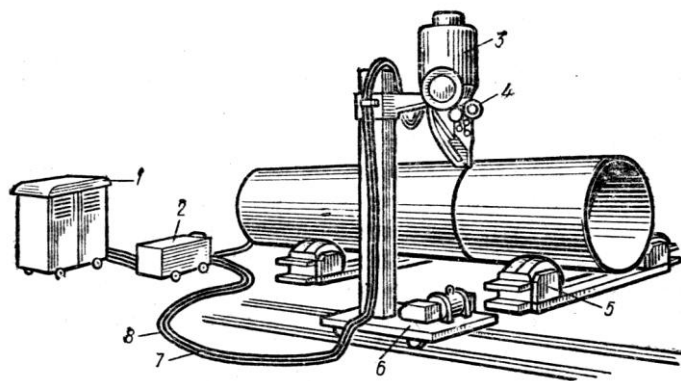
Механизированное устройство, состоящее из источника питания, сварочного аппарата или машины для сварки и механизированного

вспомогательного оборудования, называется сварочной установкой (рис. 2.56).

Сварочный аппарат представляет собой конструктивное объединение сварочной головки с механизмом ее перемещения вдоль шва, механизмами установочных перемещений, устройством для подачи флюса или защитного газа, катушками или кассетами для проволоки, пультами управления и другими устройствами. Если сварочный аппарат перемещается в процессе сварки механизированным способом относительно изделия, то он называется сварочным автоматом.

Основной частью сварочного автомата является сварочная головка. Это электромеханическое устройство осуществляет подачу в зону дуги плавящегося электрода, подвод к нему сварочного тока, поддержание устойчивого дугового процесса, а также прекращение процесса сварки. Сварочная головка может перемещаться по специальному пути (обычно по направляющим рельсам) или непосредственно по изделию. Если в конструкции сварочной головки предусмотрен механизм для ее перемещения над свариваемым изделием, головка называется самоходной. Сварочная головка, неподвижно закрепленная на стенде над свариваемым изделием, называется подвесной. В подвесных головках отсутствует механизм перемещения самой головки, обычно относительно дуги перемещается изделие с помощью вспомогательного механизма или стенда, на котором неподвижно закреплена головка.

Переносной сварочный аппарат (автомат) для дуговой сварки с самоходной тележкой, которая перемещает его вдоль свариваемых кромок по поверхности изделия или по переносному пути, уложенному на изделие, называется сварочным трактором.



*Рис. 2.56. Схема установки для автоматической сварки под флюсом продольных и кольцевых швов: 1 – источник питания, 2 – шкаф управления, 3 – флюсовая аппаратура, 4 – сварочный автомат, 5 – приспособление для вращения изделия, 6 – устройство для крепления и перемещения сварочного автомата, 7 – провода управления, 8 – провода для подвода сварочного тока*

В промышленности применяют большое число самых разнообразных сварочных автоматов общего назначения (универсальных) и специализированных, классифицируемых по следующим признакам:

- по способу перемещения вдоль линии сварного соединения – несамоходные (подвесные) и самоходные, в том числе тракторы;
- по способу защиты зоны дуги – для сварки под флюсом (Ф), в защитных газах (Г), без внешней защиты (О), по флюсу, под флюсом и в защитных газах (ФГ);
- по виду электрода – для сварки плавящимся электродом и неплавящимся электродом (без присадочного металла, с присадочным металлом);
- по виду плавящегося электрода – для сварки проволочным электродом (сплошного сечения или порошковым), ленточным электродом (сплошного сечения или порошковым), штучными электродами (стержнями или пластинами);
- по числу электродов с общим подводом сварочного тока – одноэлектродные, двухэлектродные, многоэлектродные;
- по числу дуг при раздельном питании электродов сварочным током – однодуговые, двухдуговые, многодуговые;
- по технологическому назначению – для сварки, для наплавки;
- по роду применяемого тока – для сварки постоянным током, переменным током, постоянным и переменным током;
- по способу подачи электродной проволоки – с независимой от напряжения на дуге подачей, с зависимой от напряжения на дуге подачей;
- по способу регулирования скорости сварки (для самоходных аппаратов) и подачи электродной проволоки – с плавным, с плавноступенчатым, со ступенчатым регулированием;
- по способу формирования металла шва: для сварки со свободным формированием (как правило, в нижнем положении), с принудительным формированием (как правило, на вертикальной, наклонной и криволинейной поверхностях).

В состав сварочных и наплавочных автоматов входят сварочные мундштуки или горелки (сварочный инструмент), механизм подачи электродного или присадочного материала, механизм перемещения вдоль линии соединения, механизм настроечных, вспомогательных и корректировочных перемещений, устройства для размещения электродного или присадочного материала, флюсовая аппаратура, газовая аппаратура; системы управления, источники сварочного тока, средства техники безопасности.

При сварке под флюсом в качестве подвесных головок могут быть использованы головки автоматов АБС, АДС-1000-2, АДФ-500 и др., имеющие отдельный электропривод для подачи электродной проволоки. Очень широкое применение находят сварочные автоматы тракторного типа для сварки на токах от 500 до 1600 А (АДС-1000-2, ТС-17М-У, ТС-35, АДФ-500 и др.).

Автоматы для многодуговой сварки в большинстве случаев состоят из комплекта двух или трех одноэлектродных сварочных головок, в них обеспечивается одновременная подача соответствующего числа электродных проволок при раздельном питании (двухдуговой автомат ДТС-38; А-639). Двухдуговые автоматы позволяют применять схему трехфазного питания и сваривать трехфазной дугой.

Рассмотрим в качестве примера сварочный автомат тракторного типа ТС-35, предназначенный для дуговой сварки под флюсом стыковых соединений с разделкой и без разделки кромок, для выполнения угловых швов вертикальным и наклонным электродами и для сварки нахлесточных соединений. Трактор в процессе сварки может передвигаться непосредственно по изделию или по направляющей линейке.

Сварочный автомат ТС-35 состоит из сварочного трактора (рис. 2.57), аппаратного ящика и источника питания.

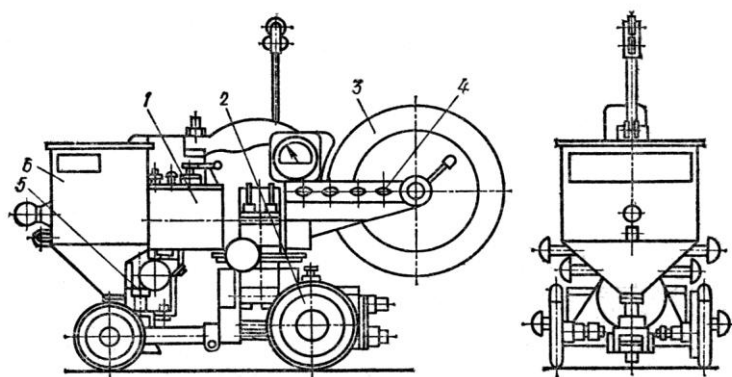


Рис. 2.57. Общий вид сварочного трактора ТС-35

Трактор является самоходным механизмом, состоящим из сварочной головки и ходовой тележки с индивидуальными электроприводами. Механизм подачи 1 обеспечивает подачу электродной проволоки диаметром 1,6–5,0 мм с помощью наборных роликов с насечкой. Скорость подачи проволоки регулируется в пределах 50–500 м/ч. Ходовая тележка 2 служит для перемещения трактора вдоль свариваемого шва. Скорость сварки устанавливается подбором сменных шестерен в пределах 12–120 м/ч. На тележке установлена кассета 3 для электродной проволоки, пульт управления 4 и бункер для флюса 5.

Сварочная головка имеет два типа токоподводящих мундштуков 5.

Для сварки электродной проволокой диаметром 3–5 мм на токах до 1000 А используют контактные ролики. Для сварки тонкой проволокой диаметром 1,6–2 мм на токах до 600 А применяют трубчатые мундштуки с наконечником в качестве скользящего контакта.

Устойчивый процесс сварки и хорошее качество сварного шва обеспечиваются при правильном выборе и поддержании постоянными параметров режима сварки. К основным параметрам режима относится сварочный ток, напряжение дуги и скорость сварки. В современных сварочных головках используются два принципа регулирования режима дуги по ее напряжению – саморегулирование дуги и автоматическое регулирование дуги.

Постоянная длина дуги обеспечивается в случае, если скорость подачи электродной проволоки  $V_э$  равна скорости ее плавления  $V_п$ . Если  $V_э > V_п$ , то это приведет к коротким замыканиям, если  $V_э < V_п$  – к обрыву дуги и прекращению процесса сварки.

Нарушение равенства  $V_э = V_п$  в процессе сварки возможно по следующим причинам:

- колебания напряжения в сети;
- неровности, волнистость, прихватки на свариваемых поверхностях; неравномерная скорость подачи электродной проволоки;
- магнитное дутье, отклоняющее дугу, и другие причины.

Большинство сварочных аппаратов для дуговой сварки работает по принципу саморегулирования дуги.

Саморегулирование дуги – это свойство сварочной дуги при сварке плавящимся электродом восстанавливать длину при случайных ее отклонениях из-за изменения скорости плавления электрода. Чем больше изменяется длина дуги, тем больше изменяется ток и, следовательно, скорость плавления электрода. Если длина дуги уменьшается, ток и скорость плавления увеличиваются и длина дуги возвращается к первоначальному значению.

Суть этого принципа можно понять при рассмотрении изменения параметров режима сварки в зависимости от внешней характеристики источника питания и изменения длины дуги (рис. 2.58).

На рисунке 2.58 изображена крутопадающая 1 и жесткая 2 характеристики источников питания и возрастающая вольтамперная характеристика дуги  $I_1$ ,  $I_2$ , соответствующие III области ВАХ, характерной для механизированных способов сварки. Точка А пересечения характеристик дуги и источника – точка устойчивого горения дуги, которой соответствует рабочий ток  $I_p$  и напряжение  $U_p$ ,  $l_1$  – начальная длина дуги для устойчивого горения.

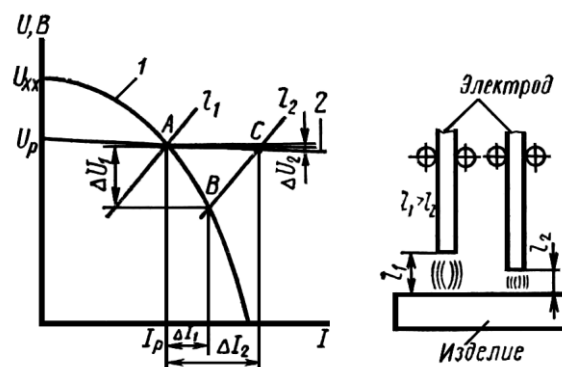


Рис. 2.58. Изменение параметров режима сварки в зависимости от внешней характеристики источника питания и длины дуги

Предположим, что длина дуги изменилась и стала равна  $l_2$ , т.е. дуга укоротилась. Меньшей длине дуги соответствует меньшее напряжение, большей длине дуги – большее напряжение. При крутопадающей характеристике 1, как видно из рисунка, в значительной степени изменится напряжение на дуге  $\Delta U_1$  и в меньшей степени ток дуги  $\Delta I_1$ . При жесткой характеристике 2, наоборот, изменение длины дуги ведет к резкому увеличению тока  $\Delta I_2$  к незначительному изменению напряжения  $\Delta U_2$ .

Увеличение тока приведет к увеличению скорости плавления электрода, в результате чего скорость плавления будет больше скорости подачи электрода ( $V_{\text{п}} > V_{\text{э}}$ ) и длина дуги через определенный промежуток времени восстановится, одновременно сравняются скорости плавления и подачи электрода.

При механизированных способах сварки процесс саморегулирования наиболее эффективен при использовании источников с жесткими (сварка в защитных газах) и пологопадающими (сварка под флюсом) характеристиками. При ручной дуговой сварке, когда изменения длины дуги наиболее часты, а при сварке в труднодоступных местах сварщику приходится самому искусственно изменять длину дуги, наиболее предпочтительно использовать источники питания с крутопадающей характеристикой, так как изменения тока при заданных режимах будут незначительны, а следовательно, и основные размеры шва будут меняться незначительно.

Автоматы и полуавтоматы, использующие принцип саморегулирования дуги, работают с постоянной скоростью подачи электродной проволоки, не зависящей от напряжения дуги (рис. 2.59, а). В этих аппаратах асинхронный двигатель трехфазного тока 1, имеющий неизменную частоту вращения, через редуктор 2 вращает подающий ролик 3, который с постоянной скоростью подает электродную проволоку в зону дуги. Одним из преимуществ сварочных аппаратов с постоянной скоро-



стью подачи электродной проволоки является простота их электрической схемы и надежность работы.

Автоматическое регулирование дуги основано на изменении скорости подачи электродной проволоки в зависимости от напряжения дуги. На рисунке 2.59, б приведена упрощенная схема работы сварочной головки, построенной по принципу автоматического регулирования. Якорь электродвигателя 1 постоянного тока через редуктор 2 вращает подающий ролик 3, который подает электродную проволоку 4 в зону горения дуги. На обмотку якоря электродвигателя подается напряжение дуги. Если по каким-либо причинам длина дуги возрастает, то возрастет и напряжение дуги, подаваемое на якорь. Вследствие этого якорь начнет вращаться быстрее и скорость подачи проволоки увеличится. Длина дуги, а, следовательно, и напряжение дуги восстановятся до первоначальной величины. Наоборот, если по каким-либо причинам длина дуги уменьшится, то напряжение на ней упадет. Якорь электродвигателя уменьшит свои обороты, и проволока начнет подаваться медленнее. При автоматическом регулировании равенство  $V_{\text{э}} = V_{\text{п}}$  обеспечивается изменением скорости подачи электродной проволоки.

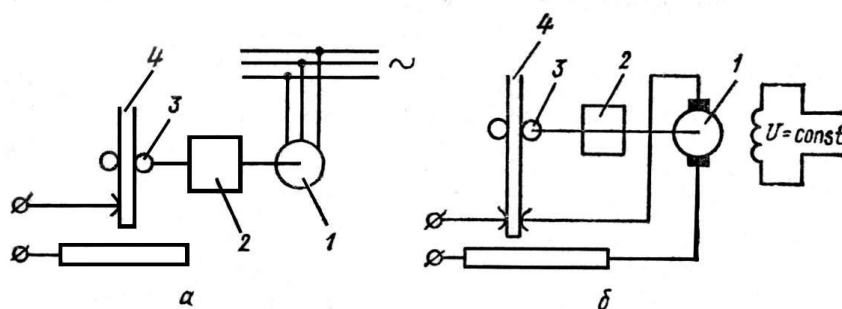


Рис. 2.59. Принципиальная схема устройства сварочной головки:  
а – с постоянной скоростью подачи электрода, б – с автоматически регулируемой скоростью подачи электрода; 1 – электродвигатели, 2 – редуктор, 3 – ролик, 4 – электродная проволока

На практике используются более совершенные схемы автоматического регулирования длины дуги, например, в сварочном автомате АДС-1000-2. Разрабатываются системы автоматического регулирования режима сварки по нескольким параметрам режима.

Для сварки под флюсом применяют источники переменного и постоянного тока с пологопадающей характеристикой. Используют преимущественно источники переменного тока в связи с большей экономичностью и хорошей устойчивостью горения дуги под флюсом. Для этой цели серийно выпускают трансформаторы ТСД-500-1, ТСД-1000-4 и ТСД-2000 в однокорпусном исполнении со встроенными

дресселями и дистанционным управлением.

При особо высоких требованиях к качеству шва, а также сварке изделий малой толщины применяют серийно выпускаемые преобразователи ПС-500, ПСО-500, ПС-1000, а также сварочные выпрямители ВС-500, ВС-1000-2, ВДУ-504, ВДУ-1001, ВДУ-1601.

### **2.6.3. ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ**

Основными параметрами режима сварки под флюсом является величина тока, его род и полярность, напряжение дуги, скорость сварки, диаметр и скорость подачи электродной проволоки. Дополнительные параметры режима – вылет электрода, наклон электрода и изделия, марка флюса, подготовка кромок и вид сварного соединения.

Параметры режима сварки выбирают исходя из толщины свариваемого металла, требуемой формы сварного шва, которая определяется глубиной проплавления и шириной шва. Режим сварки определяют по экспериментальным таблицам или приближенно простым расчетом, при сварке без разделки – по глубине проплавления, при сварке с разделкой – по количеству наплавляемого металла. Порядок подбора режима сварки следующий: в зависимости от толщины свариваемого металла выбирают диаметр электродной проволоки, затем, в зависимости от диаметра, устанавливают сварочный ток, далее – скорость подачи электродной проволоки и скорость сварки.

Автоматическую сварку под флюсом ведут сварочной проволокой сплошного сечения диаметром 1–6 мм при силе тока 150–2000 А и напряжении дуги 22–55 В, механизированную – сварочной проволокой диаметром 0,8–2 мм при силе тока 100–500 А и напряжении дуги 22–38 В.

Примерные режимы автоматической сварки под флюсом приведены в таблице 2.15.

Влияние изменения параметров режима сварки на глубину проплавления и ширину шва следующее. Увеличение тока в связи с увеличением тепловой мощности и давления дуги увеличивает глубину проплавления, но мало влияет на ширину шва. При увеличении напряжения дуги (длины дуги) увеличивается ее подвижность и возрастает доля теплоты дуги, расходуемой на расплавление флюса. При этом растет ширина шва, а глубина проплавления остается практически постоянной. Этот параметр режима широко используют в практике для регулирования ширины шва. Увеличение диаметра электрода при неизменном токе приводит к уменьшению глубины проплавления и увеличению ширины шва в связи с блужданием дуги.

Таблица 2.15

*Типичные режимы автоматической сварки под флюсом стыковых соединений на флюсовой подушке без разделки кромок*

Толщина металла, мм	Зазор, мм	Тип шва, мм	Диаметр проволоки, мм	$I_{CB}$ , А	$U_{д}$ , В		Скорость сварки, м/ч
					переменный ток	постоянный ток обратной полярности	
3	0–1,5	Односторонний	2	275–300	28–30	26–28	48–50
5	0–2	Односторонний	2	400–425	28–30	26–28	38–40
		Односторонний	4	575–625	28–30	26–28	48–50
8	2–4	Односторонний	5	675–725	32–36	26–28	30–32
8	2–4	Двусторонний	4	650–700	34–38	30–32	35–37
			5	625–675	34–38	30–32	35–37
10	2–4	Односторонний	5	700–750	34–38	30–32	28–30
10	1–3	Двусторонний	5	650–700	34–38	30–32	32–34
			4	625–675	34–38	30–32	32–34
12	4–5	Односторонний	5	750–800	36–40	30–34	25–27
12	2–4	Двусторонний	5	675–725	36–40	30–34	30–32
			4	650–700	36–40	30–34	30–32
14	4–6	Односторонний	5	850–900	36–40	30–34	25–27
14	2–4	Двусторонний	5	700–750	36–40	30–34	28–30
			4	675–725	36–40	30–34	28–30
16	5–7	Односторонний	5	900–950	38–42	30–34	20–22
16	2–4	Двусторонний	5	725–775	36–40	30–34	27–29
			4	700–750	36–40	30–34	27–29
20	5–7	Односторонний	5	950–1000	40–44	32–36	18–20
20	2–4	Двусторонний	5	775–825	38–42	32–26	22–24
			4	750–800	38–42	32–36	22–24
30	6–8	Двусторонний	5	950–1000	40–44	-	16–18
40	8–10	Двусторонний	5	1100–1200	40–44	-	12–14
50	10–12	Двусторонний	5	1200–1300	44–48	-	10–12

Род и полярность также оказывают значительное влияние на форму и размеры шва, что объясняется различным количеством теплоты, выделяющимся на катоде и аноде дуги. При сварке на постоянном токе прямой полярности глубина проплавления на 40–50 %, на переменном токе на 15–20 % меньше, чем при сварке на постоянном токе обратной полярности. Поэтому швы, в которых требуется небольшое количество металла и большая глубина проплавления (стыковые и угловые швы без разделки кромок), целесообразно выполнять на постоянном токе обратной полярности. Увеличение скорости сварки приводит к уменьшению

основных размеров шва.

С увеличением вылета электрода возрастает интенсивность его подогрева и скорость его плавления. В результате толщина прослойки расплавленного металла под дугой увеличивается, и вследствие этого уменьшается глубина проплавления. Этот эффект используют иногда для увеличения производительности наплавки и заполнения швов.

В некоторых случаях, особенно при автоматической наплавке, электроду сообщают колебания поперек шва с различной амплитудой и частотой, что позволяет в широких пределах изменять форму и размеры шва. При сварке с поперечными колебаниями электрода глубина проплавления и высота усиления уменьшаются, а ширина шва увеличивается. Этот способ удобен для предупреждения прожогов при сварке стыковых соединений с повышенным зазором или уменьшенным притуплением кромок. Подобный же эффект можно получить при сварке сдвоенным электродом, когда электроды расположены поперек направления сварки. При их последовательном расположении глубина проплавления, наоборот, возрастает.

Определенное влияние на размеры шва оказывает наклон электрода и изделия. При сварке углом вперед из-за подтекания металла в зону сварки уменьшается глубина проплавления и увеличивается ширина шва. При сварке углом назад в связи с оттеснением расплавленного металла давлением дуги в хвостовую часть ванны глубина проплавления увеличивается, ширина шва уменьшается. Соответственно, при сварке на спуск глубина проплавления уменьшается, ширина шва увеличивается, при сварке на подъем – соотношение обратное.

Техника автоматической сварки под флюсом зависит от толщины металла и типа соединения. Металл повышенной толщины сваривают многопроходными швами с необходимым смещением электрода с оси шва. Для обеспечения качества концевых участков шва сварку начинают на входной и заканчивают на выходной планках шириной до 150 мм и длиной до 250 мм, которые закрепляют на прихватках до начала сварки, после сварки планки удаляют.

При автоматической сварке стыковых соединений «на весу» сложно получить шов с проваром по всей длине из-за вытекания в зазор между кромками расплавленного металла и флюса с образованием прожогов. Для предупреждения этого применяют различные приемы, способствующие формированию корня шва. Для удержания сварочной ванны применяют следующие технологические приемы: сварку на флюсовой подушке, флюсо-медной подкладке, временных и остающихся стальных подкладках, керамических и асбестовых подкладках, ручную подварку корня шва, сварку «на весу» при зазоре менее 1 мм (рис. 2.60).

Сварку односторонних швов можно выполнять по предварительной ручной или автоматической подварке. Односторонняя сварка на остающейся стальной подкладке применяется, если она допускается по эксплуатационным условиям. Для однослойных швов толщина подкладки составляет 30–40 % толщины металла, для многослойных швов – равна толщине первого слоя. При использовании для сварки съемных медных подкладок качество шва зависит от надежности поджатия к ним кромок. При зазорах свыше 0,5 мм расплавленный металл может вытекать в него, что приводит к образованию дефектов в шве. Вместе с тем трудно уложить кромки длинного стыка вдоль формирующей канавки неподвижной медной подкладки.

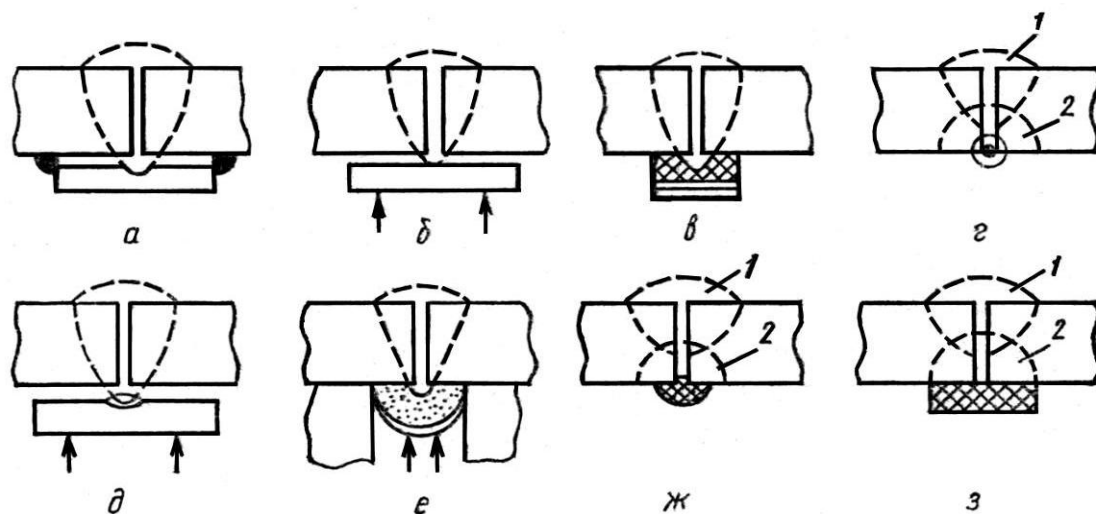


Рис. 2.60. Схемы устройств для удержания сварочной ванны и шлака, и формирование обратного валика при сварке под флюсом: а – остающаяся подкладка, б – временная подкладка, в – гибкая лента, г – ручная подварка, д – медно-флюсовая подкладка, е – флюсовая подушка, ж – заделка зазора огнестойким материалом, з – асбестовая подкладка; а – в, д, е – односторонний шов, г, ж, з – двусторонний шов; 1 – первый шов, 2 – второй шов

Для улучшения формирования корня шва в увеличенную по глубине формирующую канавку в медной подкладке можно засыпать флюс – так выполняют сварку на флюсо-медной подкладке. Односторонняя сварка на флюсовой подушке при плотном поджатии флюса обеспечивает полный провар кромок и хорошее формирование корня шва при меньшей точности сборки кромок толщиной 2 мм и выше. Флюс под стыком поджимается воздухом, подаваемым в шланг, а при сварке кольцевых швов – специальной гибкой лентой. Свариваемые листы от перекоса при поджатии флюса должны удерживаться специальными прижимами, грузами или магнитами на специальных магнитных стендах. Начинают применяться подкладки из термостойких синтетических

и керамических лент одноразового пользования.

В односторонних швах не всегда обеспечивается хорошее формирование корня шва. Поэтому в ответственных конструкциях применяют сварку с двух сторон. При этом первые валики в корне швов должны перекрывать друг друга на 2–5 мм. Для предупреждения протекания расплавленного металла в зазор между кромками лучшие результаты получаются по предварительной ручной подварке, которая часто служит как прихваточный шов при сборке. После кантовки изделия при первом основном проходе подварочный шов следует полностью переваривать.

Основное положение при сварке угловых швов – «в лодочку». Это положение обеспечивает технологические удобства, хорошее формирование и высокое качество шва, но требует дополнительных мер для удержания сварочной ванны от вытекания (подварка, асбестовые подкладки, флюсо-медные подкладки) или зазор менее 1,5 мм. Сварку «в угол» выполняют наклонным электродом. При этом способе имеются трудности по направлению электрода, особенно при многопроходной сварке. Максимальный катет шва при одном проходе составляет 8 мм, но при этом способе меньшие требования к качеству сборки: допускается зазор до 3 мм.

При сварке тавровых соединений наклонным электродом трудно избежать подреза на вертикальной стенке соединения. Для предупреждения этого электрод смещают на стенку. Нахлесточные соединения при толщине верхнего листа до 8 мм сваривают вертикальным электродом с оплавлением верхней кромки.

Автоматическую сварку под флюсом широко используют как для восстановительной наплавки, так и для наплавки с целью получения поверхностей с особыми свойствами (износостойких, коррозионностойких и др.). Техника наплавки при использовании электродной проволоки предусматривает наложение ниточных валиков с перекрытием предыдущего валика на  $\frac{1}{3}$  его ширины или валиков с поперечными колебаниями электрода. Наплавку можно вести также ниточными валиками на некотором расстоянии один от другого, после удаления шлака со всех валиков наплавливают валики в свободных промежутках.

При наплавке плоских поверхностей целесообразно применять широкие валики, т.е. вести процесс с колебательными движениями, а также использовать электродные ленты. Для наплавки целесообразнее использовать порошковые проволоки и ленты.

Наплавку тел вращения выполняют вдоль образующей или круговыми валиками по винтовой линии. Для уменьшения деформаций и напряжений применяют проковку после наплавки.

Производительность наплавки под флюсом одним электродом со-

ставляет 9–15 кг/ч, лентой – 5–30 кг/ч.

Применение автоматической сварки под флюсом не всегда осуществимо и целесообразно. Сварку в труднодоступных для автоматов местах, а также коротких и криволинейных швов можно выполнять шланговыми полуавтоматами. Сущность способа механизированной сварки под флюсом заключается в том, что электродная проволока в зону сварки подается из кассеты, расположенной на 1,5–3 м от горелки (держателя), через специальный шланговый провод, который одновременно служит для подвода сварочного тока к электродной проволоке через мундштук горелки. Дуга вдоль свариваемых кромок перемещается вручную. Флюс в зону сварки поступает либо из небольшого бункера, либо по гибкому резиновому шлангу с помощью сжатого воздуха. Для подвода сварочного тока и направления электродной проволоки служит полый гибкий кабель, соединяющий сварочную горелку с механизмом подачи.

Для механизированной сварки под флюсом используют шланговый полуавтомат типа ПШ-5 с универсальным держателем ДШ-6.

В зависимости от толщины и вида соединения металла толщиной 2–30 мм (иногда и более) сваривают со скосом или без скоса кромок, выполняют одно- и двусторонние стыковые, одно- или многопроходные угловые швы, прорезные швы, швы в нахлесточных соединениях со сквозным проплавлением верхнего листа и электрозаклепки.

Характерной особенностью механизированной сварки под флюсом является применение электродной проволоки диаметром 1,6–2 мм при высоких плотностях тока, что обеспечивает глубокое проплавление основного металла и сварку металла большой толщины. Механизированную сварку под флюсом можно выполнять как на переменном, так и на постоянном токе. Однако при выполнении стыковых швов тонкого металла и угловых швов с малым катетом предпочтительнее использование постоянного тока обратной полярности.

#### **2.6.4. ЭЛЕКТРОШЛАКОВАЯ СВАРКА**

Электрошлаковая сварка – сварка плавлением, при которой для нагрева металла используется теплота, выделяющаяся при прохождении электрического тока через расплавленный электропроводный шлак. При электрошлаковой сварке почти вся электрическая мощность передается шлаковой ванне, а от нее – электроду и основному металлу. При этом расплавленный флюс служит защитой от вредного воздействия окружающей среды и средством металлургического воздействия на расплавленный металл. Количество теплоты  $Q$ , выделяемой при элек-

трошлаковом процессе, пропорционально току  $I$ , напряжению  $U$ , сопротивлению шлака  $R$  и времени  $t$  прохождения тока  $Q=I \cdot U \cdot t$ . Эта теплота тратится на плавление металла, нагрев шлака и теплоотвод. Температура расплавленного шлака составляет около  $2000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что обеспечивает плавление основного и электродного металла.

Электрошлаковый процесс, как источник энергии для сварки, характеризуется наибольшей площадью нагрева и наименьшей сосредоточенностью энергии в зоне нагрева.

По ГОСТ 19521-74 электрошлаковая сварка классифицируется:

- по виду электрода – проволочным электродом, пластинчатым электродом, плавящимся мундштуком;
- количеству электродов с общим подводом сварочного тока – одно-, двух- и многоэлектродная;
- наличию колебаний электрода – без колебаний и с колебаниями.

Схема электрошлаковой сварки проволочным электродом показана на рисунке 2.61. Электрод 1 и основной металл 2 связаны электрически через расплавленный шлак 3. За счет теплоты, выделяемой в шлаковой ванне при прохождении электрического тока, металл электрода и кромки основного металла оплавляются и стекают на дно расплава, образуя металлическую ванну 4. В начале процесса сварки возбуждается электрическая дуга, после расплавления флюса под действием дуги и образования шлаковой ванны жидкий флюс заливает и гасит дугу, и дуговой процесс переходит в электрошлаковый.

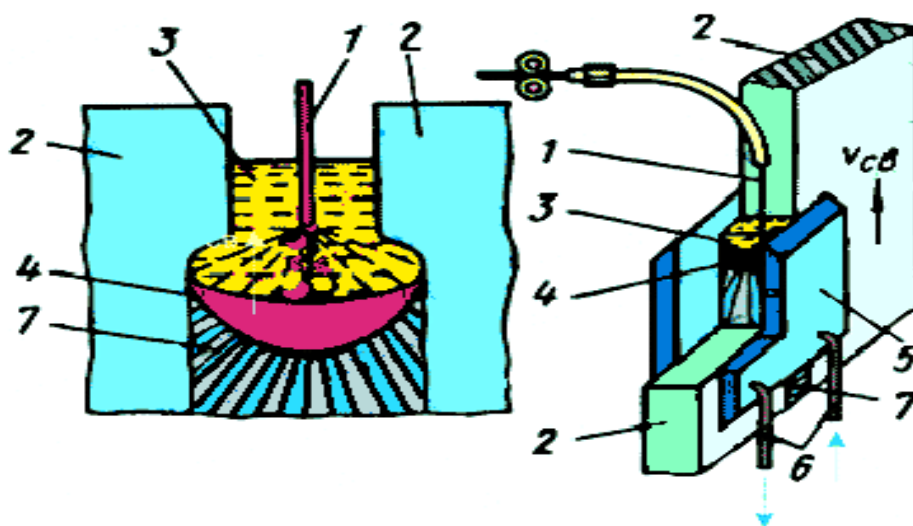


Рис. 2.61. Схема процесса электрошлаковой сварки

Свариваемые детали собирают вертикально без скоса кромок, с зазором  $20\text{--}40\text{ мм}$ . Для формирования шва и удержания жидкого металла



и шлака от вытекания применяют специальные формующие устройства – подвижные или неподвижные медные ползуны 5, охлаждаемые водой 6, или остающиеся пластины. Кристаллизующийся в нижней части металлической ванны расплавленный металл образует шов 7.

Электрошлаковая сварка имеет следующие особенности и преимущества:

- металл практически любой толщины можно сваривать за один проход, поэтому производительность сварки в 5–15 раз выше, чем при многослойной автоматической сварке под флюсом, при этом, как правило, не требуется разделки кромок;
- вертикальное положение металлической ванны, повышенная температура ее верхней части и значительное время нахождения металла в расплавленном состоянии способствуют удалению газов и неметаллических включений из металла шва;
- малый расход флюса, обычно не более 5 % от массы наплавленного металла.

Недостатком электрошлаковой сварки является значительный перегрев металла околошовной зоны, что приводит к снижению пластических свойств, поэтому требуется, как правило, последующая высокотемпературная обработка для получения требуемых механических свойств сварного соединения.

Электрошлаковая сварка технически возможна при толщине металла более 16 мм и, как правило, экономически выгодна при сварке металла толщиной более 25 мм. Этот вид сварки позволяет выполнять только вертикальные швы. Электрошлаковую сварку применяют для сварки сталей, алюминиевых и титановых сплавов. Основные виды сварных соединений, выполняемых электрошлаковой сваркой, показаны на рисунке 2.62.

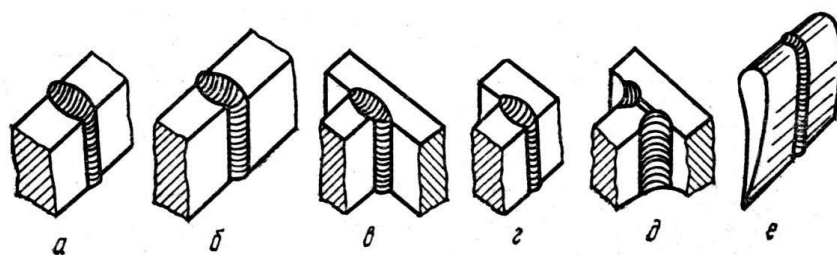


Рис. 2.62. Основные виды сварных соединений, выполняемых электрошлаковой сваркой: а, б – стыковые, в, д – тавровые, г – угловые, е – переменного сечения

Применение электрошлаковой сварки вносит коренные изменения в технологию производства крупногабаритных изделий: появляется возможность замены крупных литых или кованных деталей сварно-

литыми или сварно-коваными из более мелких деталей.

К основным параметрам электрошлаковой сварки относятся: скорость сварки, сварочный ток, скорость подачи электродов, напряжение сварки, толщина металла, приходящегося на один электрод, расстояние между электродами. Вспомогательные параметры режима: зазор между кромками, глубина шлаковой ванны, состав флюса, скорость поперечных колебаний электрода, вылет электрода, сечение проволоки и др. Сварочный ток, величина которого определяется типом электрода (проволока, пластина, плавящийся мундштук), число электродных проволок, их диаметр и сечение пластинчатых электродов или плавящихся мундштуков, скорость подачи электродов и другие параметры выбирают таким образом, чтобы получить скорость и напряжение сварки, обеспечивающие устойчивость процесса и требуемые размеры и форму шва. Ориентировочные значения основных параметров режима приведены в таблице 2.16. При использовании электродных проволок глубина шлаковой ванны обычно 25–70 мм, скорость подачи проволоки 100–150 м/ч, скорость возвратно-поступательного движения электродов 25–40 м/ч, сухой вылет электрода 60–80 мм.

Таблица 2.16

*Примерные параметры режима электрошлаковой сварки  
низкоуглеродистой стали проволочными электродами*

Толщина свариваемого металла, мм	Сварочный ток на один электрод, А	Напряжение на шлаковой ванне, В	Количество электродов, шт	Диаметр электрода, мм	Расстояние между электродами, мм	Скорость поперечного движения электрода, м/ч	Скорость подачи электрода, м/ч	Выдержка у ползунов, с	Зазор, мм	Скорость сварки, м/ч	Сухой вылет электрода, мм	Глубина шлаковой ванны, мм	Марка флюса
30	350–370	32–34	1	2,5	-	-	172	-	30	0,9-1	40–50	20–25	АН-8
70	640–660	46–48	1	3	-	31	371–400	5	26–30	1–1,1	90–95	60–65	АН-8
90	600–620	42–46	2	3	45–50	26–32	300	4–6	24–27	1,6	60–80	50–70	ФЦ-7
250	500–550	50–55	2	3	125	31	230–250	5	28–32	0,4–0,5	60–70	45–50	ФЦ-7
300	400–450	46–48	3	3	110	31–36	200–220	5	30	0,35	60–70	45–50	АН-8
450	200	36–38	9	3	50	-	60–80	-	30–33	0,6	50–70	40–45	АН-8

Для электрошлаковой сварки используют обычные флюсы, например, АН-348А, ФЦ-7, а также специальные флюсы, образующие электропроводный расплав с заданными технологическими свойствами: вязкостью, электропроводностью, температурой плавления и т.д. (АН-8, АН-22 и др.).

Сварку пластинчатым электродом применяют для сравнительно коротких швов высотой до 1,5 м. Вместо пластин можно применять расходимые электроды, т.е. стержни круглого, квадратного и других сечений. В этом случае значительно упрощается аппаратура для сварки.

Сварка плавящимся мундштуком как бы объединяет способы сварки проволочными и пластинчатыми электродами. В пластинчатом электроде делают пазы или к нему приваривают трубки для подачи электродных проволок. При сварке пластина остается неподвижной и является плавящимся мундштуком, по которому подается проволока. Этим способом можно сваривать швы сложного криволинейного профиля.

Заготовки под сварку собирают с зазором (обычно 30 мм), учитывая усадки стыка при сварке и после нее. Для плотного прилегания ползунов и формирующих устройств к кромкам стыка последние зачищают от заусенцев и окалины на ширину до 100 мм. Для вывода за пределы шва усадочной раковины в конце шва устанавливают выходные планки, а для вывода непроваров в начале шва – входные планки, которые после сварки удаляются резкой. Для начала сварки в карман, образованный входными планками, засыпают флюс, возбуждается дуговой процесс до получения шлаковой ванны требуемой величины. После этого дуга шунтируется шлаком, и процесс переходит в бездуговой – электрошлаковый.

Для производства электрошлаковой сварки разработаны три типа аппаратов:

- 1) рельсовые аппараты, перемещающиеся по вертикальным рельсам или специальным направляющим вдоль свариваемого шва (аппараты типов А-820М, А-535 и А-681);

- 2) безрельсовые аппараты, движущиеся по свариваемому изделию и связанные с ним механическим креплением (аппараты типов А-304 и А-612);

- 3) шагающие магнитные аппараты, перемещающиеся по свариваемому изделию с помощью системы шагающих электромагнитов (аппарат типа А-501М).

Источниками питания многоэлектродных аппаратов для электрошлаковой сварки являются трехфазные сварочные трансформаторы ТШС-1000-3 и ТШС-3000-3 конструкции ИЭС им. Е.О. Патона. Они обеспечивают в каждой фазе сварочный ток, соответственно, в 1000 и

3000 А. Первичная и вторичная обмотки трансформаторов состоят из секций с отводами, что позволяет изменять вторичное напряжение в пределах 38...54 В. Трансформаторы работают с принудительным охлаждением (ТШС-1000-3 – воздушное, ТШС-3000-3 – водяное). При отсутствии этих трансформаторов можно применять трансформаторы типов ТСД-500, ТСД-2000, СТН-750 и др.

## **2.7. СВАРКА В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ**

### **2.7.1. СУЩНОСТЬ И ПРЕИМУЩЕСТВА СВАРКИ**

Дуговая сварка в защитных газах имеет высокую производительность, легко поддается автоматизации и позволяет выполнять соединение металлов без применения электродных покрытий и флюсов. Этот способ сварки нашел широкое применение при изготовлении конструкций из сталей, цветных металлов и их сплавов.

Классификация способов дуговой сварки в защитных газах приведена на рисунке 2.63.

Дуговая сварка в защитных газах может быть выполнена плавящимся и неплавящимся (вольфрамовым) электродами.

Для защиты зоны сварки используют инертные газы гелий и аргон, а также активные газы – азот, водород и углекислый газ. Применяют также смеси отдельных газов в различных пропорциях. Такая газовая защита оттесняет от зоны сварки окружающий воздух. При сварке в монтажных условиях или в условиях, когда возможно сдувание газовой защиты, используют дополнительные защитные устройства. Эффективность газовой защиты зоны сварки зависит от типа свариваемого соединения скорости сварки. На защиту влияет также размер сопла, расход защитного газа и расстояние от сопла до изделия (оно должно быть 5–40 мм).

Преимущества сварки в защитных газах следующие:

- нет необходимости применять флюсы или покрытия, следовательно, не требуется очищать швы от шлака;
- высокая производительность и степень концентрации тепла источника позволяет значительно сократить зону структурных превращений;
- незначительное взаимодействие металла шва с кислородом и азотом воздуха;
- простота наблюдения за процессом сварки;
- возможность механизации и автоматизации процессов.

Иногда применяют двойную защиту сварочной дуги (комбиниро-

ванную). Надежность защиты зоны сварочной дуги зависит от теплофизических свойств и расхода газа, а также от конструктивных особенностей горелки и режима сварки. Подаваемые в зону сварочной дуги защитные газы влияют на устойчивость дугового разряда, расплавление электродного металла и характер его переноса. Размер капель электродного металла уменьшается с увеличением сварочного тока, а увеличение глубины проплавления с увеличением сварочного тока связано с более интенсивным вытеснением жидкого металла из-под электрода вследствие давления сварочной дуги.

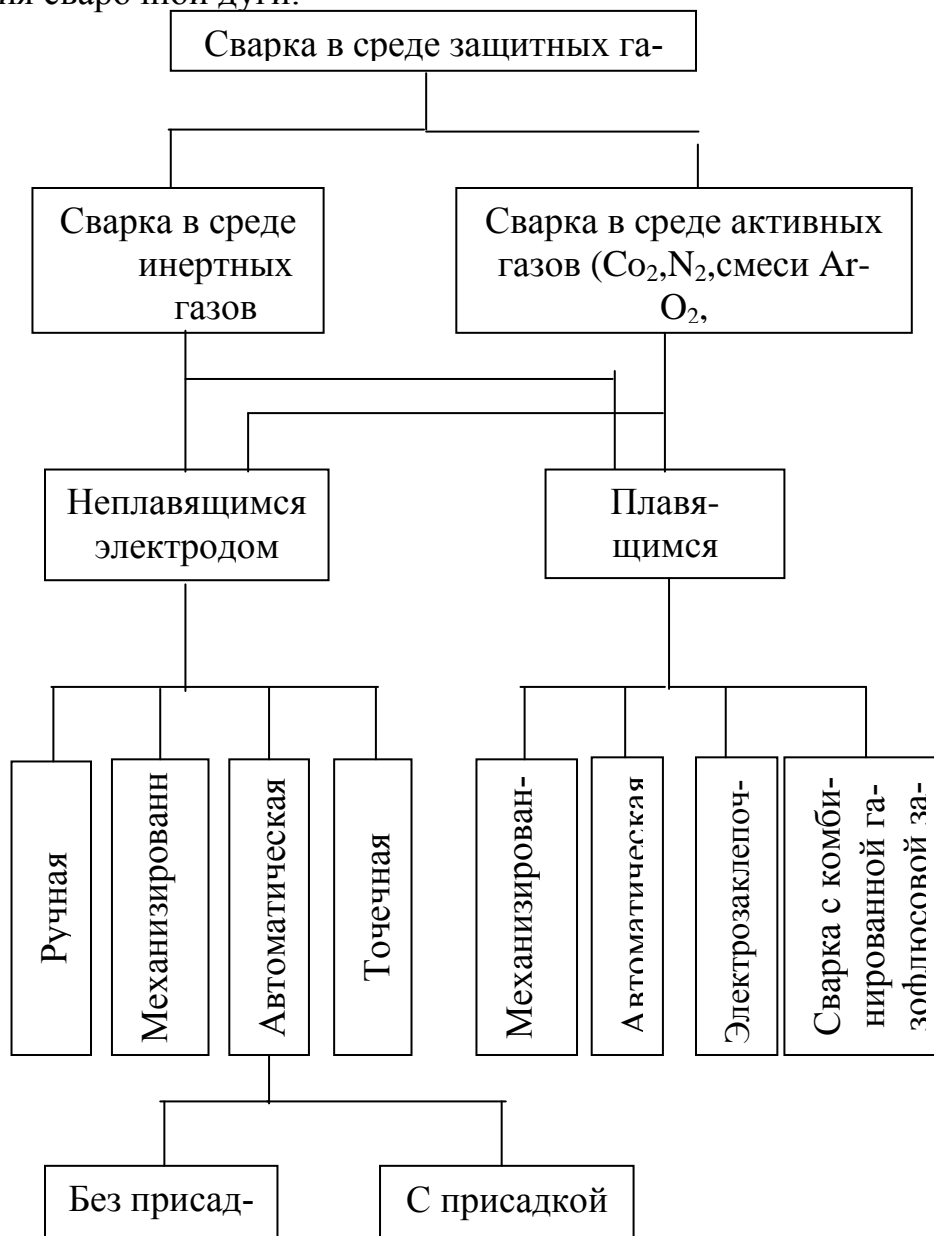


Рис. 2.63. Классификация способов дуговой сварки в защитных газах

При сварке плавящимся электродом дуга горит между изделием и расплавляемой сварочной проволокой, подаваемой в зону сварки. При сварке неплавящимся электродом (вольфрамовые прутки) сварочная дуга может быть прямого или косвенного действия. Разновидностью сварочной дуги косвенного действия может быть дуга, горящая между вольфрамом и непрерывно подаваемой в зону дуги сварочной проволокой.

Защитное свойство струи инертного газа зависит от чистоты газа, параметров струи и режима сварки. Одним из наглядных способов оценки защитных свойств является определение диаметра зоны катодного распыления при возбуждении дуги переменного тока между вольфрамовым электродом и свариваемым металлом. В период, когда катодом является свариваемый металл, происходит вырывание частиц металла с поверхности сварочной ванны и соседних зон относительно холодного металла. Степень катодного распыления зависит главным образом от массы положительных ионов, которые в процессе сварки бомбардируют катод. Например, в среде аргона наблюдается более интенсивное катодное распыление, чем в среде гелия. По убывающей склонности к катодному распылению металлы располагают в следующем порядке: Mg, Al, Si, Zn, W, Fe, Ni, Pt, Cu, Bi, Sn, Sb, Pb, Ag, Cd.

Сварочную дугу в защитных газах можно классифицировать по следующим основным признакам:

- применяемому для защиты зоны сварки газу – активному или нейтральному;
- способу защиты зоны сварки – одиночным газом, смесью газов или комбинированным;
- применяемому для сварки электроду – плавящемуся или неплавящемуся;
- применяемому току – постоянному или переменному.

Газы по защитному свойству расплавленного металла сварочной ванны от воздействия азота и кислорода воздуха подразделяются на инертные и активные.

К инертным газам относятся аргон и гелий, которые практически не взаимодействуют с расплавленным металлом сварочной ванны.

К активным газам относятся углекислый газ, азот, водород и кислород.

Активные газы по своему химическому взаимодействию с расплавленным металлом сварочной ванны могут быть нейтральными и реагирующими. Например, азот по отношению к меди является нейтральным газом, т.е. не образует с медью никаких химических соединений. Ак-

тивные газы или продукты их распада в процессе дугового разряда, т.е. во время сварки, могут соединяться с расплавленным металлом сварочной ванны и растворяться в нем, из-за чего резко снижаются механические свойства сварного шва, а его химический состав не будет соответствовать установленным требованиям стандартов. Однако следует отметить, что некоторые растворимые в металле активные газы не всегда бывают вредными примесями. Например, азот в углеродистых сталях является вредной примесью (образуются нитриды), из-за чего резко снижаются механические свойства сварного шва и стойкость к старению, тогда как в сталях аустенитного класса азот является полезной добавкой. При аргонодуговой сварке углеродистых сталей для поддува можно применять не только аргон или углекислый газ, но и азот, если в сварочную ванну будут введены элементы-раскислители в виде кремния и марганца. Поэтому выбор газа и присадочного материала должны обеспечивать заданные механические свойства, химический состав и структуру сварного шва. При сварке в защитной среде инертных газов расплавленный металл сварочной ванны изолирован от воздействия кислорода и азота воздуха, поэтому металлургические процессы могут происходить между элементами, содержащимися только в расплавленном металле сварочной ванны.

Так, например, если в сварочной ванне содержится некоторое количество кислорода в виде закиси железа  $\text{FeO}$ , то при наличии достаточного количества углерода будет образовываться нерастворимая в металле окись углерода  $\text{CO}$ :  $[\text{C}] + [\text{O}] = \text{CO}\uparrow$ .

Вследствие того, что расплавленный металл сварочной ванны кристаллизуется, а газ выйти не успевает, то в нем будут образовываться поры.

Расплавленный металл сварочной ванны может насыщаться кислородом, находящимся в инертном газе в виде свободного кислорода и паров воды. Поэтому для подавления реакции окисления углерода в период кристаллизации расплавленного металла сварного шва в сварочную ванну через присадочный материал должны быть введены элементы-раскислители в виде кремния и марганца. При сварке легированных сталей, имеющих в своем составе необходимое количество раскислителей, реакция образования окиси углерода подавляется. Таким образом, при сварке в защитных газах для подавления образования окиси углерода, способной образовывать поры в сварном шве, и устранения азотирования сварного шва необходимо в сварочную ванну ввести элементы-раскислители.

При сварке в защитной среде углекислого газа последний, защищая расплавленный металл сварочной ванны от кислорода и азота воздуха,

сам в свою очередь, разлагаясь в дуговом разряде, является окислителем металла. Таким образом, как и при сварке в защитной среде инертных газов, в этом случае образуется окись углерода, которая в процессе кристаллизации металла сварочной ванны создает в нем поры. Для подавления образования окиси углерода (СО) через присадочную проволоку в расплавленный металл сварочной ванны вводятся элементы-раскислители – кремний и марганец.

### **2.7.2. СВАРКА В УГЛЕКИСЛОМ ГАЗЕ**

Способ сварки в защитной среде углекислого газа был разработан в 1952 г. советскими исследователями К.В. Любавским и Н.М. Новожиловым.

В настоящее время сварка в  $\text{CO}_2$  получила широкое применение на производстве как у нас в стране, так и за рубежом. По объему применения сварка в  $\text{CO}_2$  составляет около 90 %, на сварку в аргоне приходится 9 %, остальное – на сварку в смесях газов. В России сварка в защитном газе по приведенной трудоемкости среди механизированных способов сварки занимает второе место после контактной сварки.

Сварка в  $\text{CO}_2$  плавящимся электродом осуществляется с использованием плавящегося электрода и защитного газа  $\text{CO}_2$ , подаваемого в зону дуги. Этот вид сварки является механизированным, ее выполняют полуавтоматами и автоматами. Устойчивое горение дуги обеспечивается при высокой плотности постоянного тока на возрастающей ветви вольтамперной характеристики. Стабильность параметров сварного шва (его глубина и ширина) зависит от постоянства длины дуги, которое обеспечивается процессами саморегулирования длины дуги за счет поддержания постоянной скорости подачи электродной проволоки, равной скорости плавления.

Основной особенностью сварки в  $\text{CO}_2$  плавящимся электродом является необходимость применения электродных проволок с повышенным содержанием элементов-раскислителей – кремния и марганца, компенсирующих их выгорание в зоне сварки, предотвращающих дополнительное окисление металла при сварке и образования пор.

Причины окисления и образования пор при сварке в углекислом газе следующие. При сварке углекислый газ диссоциирует в зоне дуги с образованием атомарного кислорода по реакции





Атомарный кислород окисляет железо и легирующие присадки, содержащиеся в стали:



В результате этого металл сварочной ванны насыщается кислородом, а его свойства ухудшаются. При охлаждении расплавленного металла углерод, содержащийся в стали, окисляясь, будет способствовать образованию оксида углерода по реакции



Образующийся при кристаллизации металла шва СО выделяется в виде пузырьков, часть из которых, не успевая выделиться, задерживается в металле шва, образуя поры.

В том же случае, если металл сварочной проволоки легирован кремнием и марганцем, окислы железа раскисляются не за счет углерода, а в основном за счет кремния и марганца из сварочной проволоки, таким образом предотвращается образование окиси углерода при кристаллизации и образование пор. Раскисление окислов железа идет по реакции



Окислы кремния и марганца в виде шлака скапливаются на поверхности сварочной ванны.

Установлено, что, как и всякий другой процесс, сварка в  $\text{CO}_2$  проволокой диаметром 0,8 – 2 мм имеет свои рациональные области применения. Главными из них являются:

1) сварка обычных углеродистых, легированных конструкционных и обычных нержавеющих сталей толщиной 0,8–4,0 мм во всех положениях: от 4 мм и выше, в вертикальном горизонтальном и потолочном положениях со швами любой формы и любой длины;

2) сварка небольших деталей массового и серийного производства;

3) сварка неповоротных стыков диаметром от 10 мм и до нескольких метров с толщиной стенки 1–12 мм в монтажных условиях;

4) сварка поворотных круговых швов труб и других изделий при необходимости получения полного провара с формированием обратного

шва;

5) наплавка изношенных поверхностей деталей малых размеров и малых диаметров (от 10 мм и выше);

6) выполнение прихваточных швов, сварка электрозаклепками и точками;

7) сварка разнородных сталей и чугуна;

8) заварка трещин и других дефектов малых размеров на стальных и чугунных деталях.

На основе анализа опыта применения сварки в  $\text{CO}_2$  были следующим образом сформулированы основные преимущества этого способа, которые и обусловили столь широкое его применение:

1) высокая концентрация энергии дуги и большая, чем при ручной дуговой сварке, проплавляющая способность дуги при сварке в  $\text{CO}_2$ ; это обеспечивает меньший разогрев кромок, большие скорости сварки и более высокую экономичность процесса;

2) возможность вести механизированную сварку проволокой диаметром 0,8...1,4 мм во всех пространственных положениях и проволокой диаметром 1,6...2,0 мм в нижнем положении;

3) высокая производительность (присущая большинству из известных механизированных способов сварки);

4) высокие механические свойства сварных соединений;

5) высокая стабильность процесса сварки в  $\text{CO}_2$  в широком диапазоне режимов (от малых до больших токов);

6) стойкость против образования пор и трещин, которая обусловлена окислительной атмосферой в зоне сварки;

7) возможность видеть зону сварки и высокая маневренность процесса, обеспечивающие выполнение точечных швов, коротких и длинных швов любой конфигурации в различных пространственных положениях;

8) производительность при сварке тонкого металла по зазорам и «на весу», а также вертикальных и потолочных швов более высокая, чем при ручной дуговой сварке;

9) возможность выполнения швов, расположенных вблизи края конструкции;

10) легкая механизация и автоматизация всего цикла сварки;

11) малое время подготовки сварщиков.

12) меньшая себестоимость сварочных работ и другие.

Вместе с тем сварка в  $\text{CO}_2$  обладает рядом существенных недостатков, а именно:

1) несколько повышенная окислительная способность атмосферы в зоне сварки, требующая использования проволок с большим количе-

ством раскислителей и дающая неравномерное расположение участков шлака на шве;

2) во многих случаях повышенное разбрызгивание и не всегда удовлетворительное формирование швов;

3) более сложная и тяжелая, чем при ручной дуговой сварке, аппаратура.

Схема общего вида сварочного поста показана на рисунке 2.64.

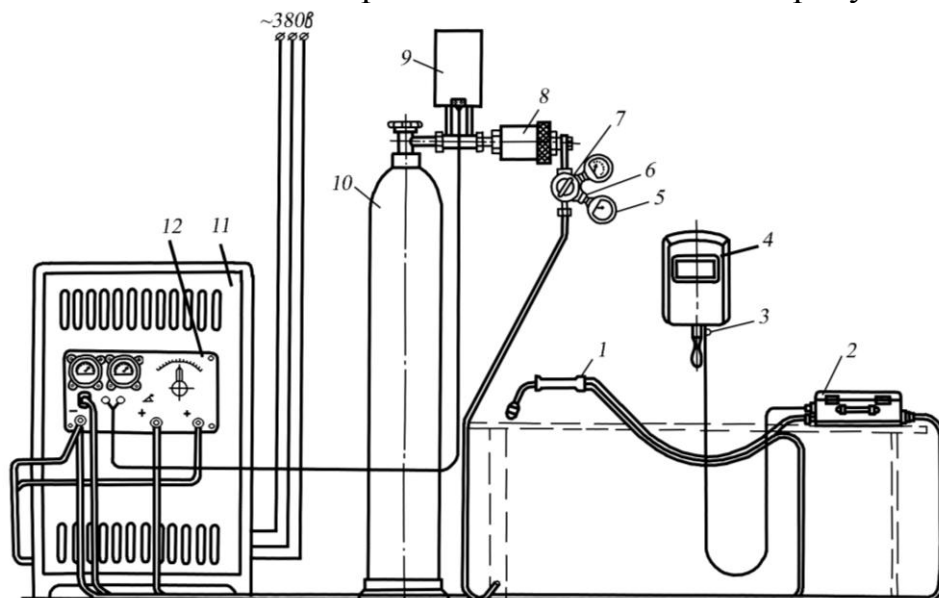


Рис. 2.64. Схема механизированной сварки в углекислом газе:

1 – держатель, 2 – подающий механизм, 3 – кнопка включения, 4 – защитный щиток, 5 – манометр, 6 – переходной штуцер для установки манометра, 7 – редуктор кислородный с манометром высокого давления, 8 – осушитель газа, 9 – подогреватель газа, 10 – баллон с углекислым газом, 11 – сварочный выпрямитель, 12 – пульт управления

Сварку в углекислом газе выполняют во всех пространственных положениях, вертикальные и потолочные швы выполняют на малых токах и проволокой небольшого диаметра.

Параметрами режима сварки в углекислом газе является род и полярность тока, диаметр электродной проволоки, величина сварочного тока, напряжение дуги, расход углекислого газа, вылет и наклон электродной проволоки по отношению к свариваемому изделию.

При сварке применяют постоянный ток обратной полярности. Величину сварочного тока и диаметр электродной проволоки выбирают в зависимости от толщины металла и положения шва в пространстве.

*Материалы.* Углекислый газ имеет следующие особенности:

- при повышении давления превращается в жидкость;

- при охлаждении без давления переходит в твердое состояние – сухой лед;
- сухой лед при повышении температуры переходит непосредственно в газ, минуя жидкое состояние.

Для сварки применяют углекислоту по ГОСТ 8050-85, поставляемую в баллонах в жидком состоянии. При испарении 1 кг жидкой углекислоты при 0 °С и 760 мм рт. ст. образуется 506,8 л газа. В стандартный баллон емкостью 40 л заливают 25 кг жидкой углекислоты, что составляет 12,67 м<sup>3</sup> газа. Вредными примесями в углекислом газе являются азот и влага.

Влага удаляется из газа осушителем, который заполняется силикагелем, алюмогелем или медным купоросом, которые перед заправкой в осушитель необходимо прокалить при температуре 250–300 °С в течение 2–2,5 ч.

Сварочная проволока применяется в зависимости от марки свариваемой стали.

В таблице 2.17 приведены некоторые марки сварочных проволок, применяемые при сварке различных сталей.

Таблица 2.17

*Применение марок проволок для сварки сталей различных марок*

Марка	Применение
Св-08ГС	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей на токах до 400 А
Св-08Г2С	Для сварки углеродистых и низколегированных сталей на токах до 750 А
Св-10ХГ2С	Для сварки низколегированных сталей повышенной прочности
Св-08ХГ2СМ	Для сварки теплоустойчивых сталей типа 15ХМА
Св-08ХГСМФ	Для сварки теплоустойчивых сталей типа 20ХМФ
Св-08ХЗГ2СМ	Для сварки стали 30ХГСА
Св-08Х14ГТ Св-10Х17Т	Для сварки хромистых сталей типа Х13, Х17
Св-06Х19Н9Т Св-08Х19Н10Б	Для сварки коррозионностойких сталей марок 0Х18Н10, 0Х18Н9, 0Х18Н9Т и 0Х18Н10Т

Как уже отмечалось выше, наряду с достоинствами этот способ сварки имеет недостатки, которые снижают эффективность его применения. К ним, в первую очередь, относится повышенное разбрызгивание

электродного металла, особенно при сварке проволокой диаметром 1,6...2,0 мм. Разбрызгивание сопровождается выбрасыванием из зоны дуги большого количества брызг (капель) жидкого металла различного размера. Забрызгивание деталей сварочной горелки (сопло, токоподводящий мундштук и так далее) и свариваемых изделий требует введения в технологический процесс нежелательной операции – очистки поверхностей от брызг, что приводит к дополнительным трудозатратам на зачистку изделия в объеме 20...40 % и сварочных горелок 10...15 % от общей трудоемкости сварочных операций.

Исследованиями было установлено несколько причин разбрызгивания расплавленного металла при дуговой сварке. Основными из них являются следующие:

- 1) интенсивное газовыделение в объеме жидкого металла капли и сварочной ванны, сопровождающееся взрывообразными выбросами расплавленного металла из электродных капель и сварочной ванны;
- 2) реактивные силы, выталкивающие целые капли металла за пределы шва, что особенно заметно при нестабильном процессе сварки;
- 3) газо-гидродинамический удар при разрушении перемычки между электродом и переходящей в ванну каплей, влияние которого особенно заметно при сварке с короткими замыканиями;
- 4) силы инерции и механического удара по сварочной ванне при сварке с вибрацией электрода;
- 5) недостаточная стабильность процесса сварки.

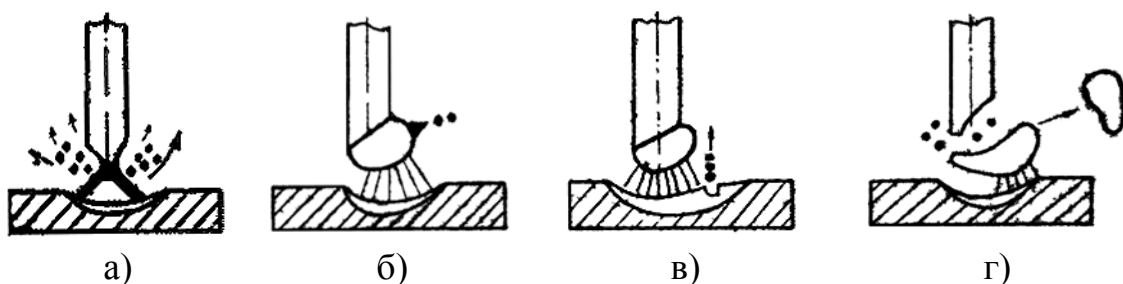
Работы по снижению разбрызгивания при сварке в  $\text{CO}_2$  ведутся в двух направлениях: путем снижения разбрызгивания и набрызгивания.

Снижение разбрызгивания проводится в результате:

- а) выбора режимов сварки в углекислом газе, при которых разбрызгивание минимальное;
- б) уменьшения величины тока короткого замыкания посредством введения в систему источник питания – электрическая дуга индуктивного или активного сопротивления;
- в) создания систем, обеспечивающих кратковременное снижение мощностей взрыва жидкой перемычки между каплей и электродом в начальный период горения дуги после короткого замыкания;
- г) изыскания новых сварочных материалов (проволок, смесей газов) и приемов сварки;
- д) окисления поверхности брызг защитным газом.

Снижение набрызгивания поверхности свариваемых деталей происходит путем нанесения защитных покрытий на эти поверхности.

Основные виды разбрызгивания при сварке в  $\text{CO}_2$  показаны на рисунке 2.65.



*Рис. 2.65. Основные виды разбрызгивания при сварке в  $\text{CO}_2$ : а – выброс мелких брызг вследствие взрыва перемычки между электродом и каплей; б – выброс мелких брызг из капли; в – выброс брызг из ванны; г – выброс крупных брызг с конца электрода*

К основным причинам выбрасывания капель металла из зоны сварки относится электрический взрыв перемычки, обусловленный ее нагревом до возбуждения дуги, силовое действие дуги, электромагнитные силы.

Дуговая сварка сталей обычно сопровождается выбрасыванием из зоны дуги большого количества капель жидкого металла различного размера. При сварке покрытыми электродами и под флюсом большинство или почти все капли улавливаются шлаком, а при сварке в защитных газах они привариваются или прилипают к основному металлу, соплу и наконечнику горелки. Интенсивность разбрызгивания металла зависит от большого количества факторов (состава и состояния поверхности электродной проволоки и основного металла, характеристики источника питания, величины и соотношения параметров режима сварки и др.), в том числе и от состава защитного газа.

Наибольшее разбрызгивание имеет место при сварке в  $\text{CO}_2$ . Забрызгивание свариваемых деталей часто требует введения в технологический процесс нежелательной операции – зачистки их поверхностей после сварки. Попадание крупных брызг на поверхность разделки кромок увеличивает возможность появления непроваров и небольших шлаковых включений в металл шва. Если сварщик нерегулярно удаляет брызги с поверхности сопла и токоподводящего мундштука, то налипание брызг на мундштук нарушает равномерную подачу электродной проволоки, а иногда вызывает ее приваривание к мундштуку.

Сильное засорение сопла горелки брызгами металла ухудшает газовую защиту зоны сварки, что может привести к повышению содержания азота в металле шва и образованию в нем пор. При нерегулярной очистке сопла горелки и токоподводящего мундштука прилипающие к их поверхностям брызги могут самопроизвольно отваливаться и, попадая в сварочную ванну, вызывать в металле швов местные непроплавления и окисные включения.

Наиболее радикальным средством существенного общего уменьшения разбрызгивания, по-видимому, является применение активированных проволок. Для уменьшения разбрызгивания при сварке в  $\text{CO}_2$  необходимо применять источники питания дуги с оптимальными динамическими характеристиками, избегать сварки на средних токах, при которых резко усиливается разбрызгивание, и вести сварку с возможно меньшим напряжением дуги. При сварке на больших токах разбрызгивание может усиливаться появлением магнитного дутья. Прилипание брызг к соплу и мундштуку горелки в значительной степени зависит от их температуры и материала, из которого они изготовлены. В большинстве случаев детали горелок, предназначенных для сварки плавящимся электродом в защитных газах, изготавливают из меди и ее сплавов, а температура деталей в процессе сварки зависит от их расстояния до дуги и интенсивности охлаждения.

*Способы защиты свариваемых изделий от брызг расплавленного металла* в общем характеризуются тем, что поверхность металла, подлежащего сварке, покрывается защитным слоем или в виде экрана, или в виде раствора веществ, высыхающего перед сваркой и препятствующего прилипанию брызг к основному металлу.

Работы по изысканию способов защиты изделий от брызг ведутся как у нас в стране, так и за рубежом. В соответствии с патентом США № 3414703 для защиты сварщика и изделий применяется экран с окном, расположенным между сварщиком и изделием. Часть экрана размещается вблизи изделия над ним, что предотвращает набрызгивание в процессе сварки. Однако данный способ защиты затрудняет процесс сварки, и требует дополнительных затрат на оборудование рабочего места сварщика защитным экраном. Другими патентами США, например № 3330965, описывается применение материалов, содержащих лигнины.

Для уменьшения налипания брызг при электродуговой сварке сталей рекомендуется применять:

- а) щелочные растворы лигнины, полученные из волокнистой массы с помощью сульфатного процесса выделения этой массы из дерева;
- б) водный раствор солей лигносульфата, полученный различными способами.

Следует отметить тот факт, что лигнины подвержены гнилоственному разложению, и, соответственно, покрытия на их основе нельзя долго хранить.

У нас в стране авторским свидетельством № 1780967 запатентован состав покрытия для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла, содержащий 200 г лигносульфоната на 1 литр воды и

для предупреждения гнилостного разложения 0,1 г фурацилина. Патент США № 3232197 предусматривает способ защиты резьбы винтовых прижимов сборочно-сварочных устройств от брызг путем нанесения на резьбу фосфатного покрытия.

Японским патентом № 39449 предусматривается способ удаления брызг металла с внутренней поверхности сопла горелки, который состоит в том, что после прекращения сварки и подачи защитного газа производится автоматическое включение клапанов, через которые в горелку поступает сжатый воздух, обеспечивающий удаление брызг и охлаждение горелки. В поток воздуха можно вводить вещества, препятствующие налипанию брызг, например силиконовое масло.

Чтобы уменьшить сцепление капель жидкого металла с поверхностью свариваемых деталей, последние покрывают смесью метилсиликонового масла, коллоидного  $\text{SiO}_2$  и метилсиликоновой смолы. Количество нелетучих компонентов 2...95 %.

На одном из предприятий Германии для защиты свариваемых деталей от брызг применяют покрытие на основе алкидной смолы и пигмента из красной окиси железа. Однако нанесение данных покрытий перед сваркой, его удаление после сварки связано с дополнительными затратами, которые, очевидно, зависят от свойств наносимых покрытий.

Аналогичные работы проводятся также рядом предприятий и организаций нашей страны. Например, Всесоюзным научно-исследовательским проектно-технологическим институтом автоматизации и механизации строительного и дорожного машиностроения предложена композиция для защиты поверхности свариваемых деталей от брызг расплавленного металла в процессе сварки, состоящая из наполнителя (циркон, маршалит) 75...82 %; растворителя (ацетон, растворитель 646) 17...22 %; связующего (поливинилбутераль лак 174) 1,0..3,0 %.

На Черноморском судостроительном заводе предложено покрывать сопло и сменные наконечники краской Ян-7А. Однако применение данных веществ связано с дополнительной трудоемкостью нанесения и последующего удаления их со свариваемых поверхностей, дефицитностью. Кроме того, не исследованы санитарно-гигиенические и технико-экономические показатели этих покрытий.

Известно покрытие для защиты металлической поверхности от брызг расплавленного металла, состоящее из алюминиевой пудры 4...10 %, декстрина 4...10 %, маршалита 62...64 %, воды 26...30 %.

На Мурманском тепловозостроительном заводе используется для защиты поверхности изделий от брызг состав (мел электродный 32 %, жидкое стекло 5 %, вода 63 %), который не содержит дорогих и дефицитных материалов.



Известен способ защиты зажимных устройств стыковых электросварочных машин от налипания брызг расплавленного металла, отличающийся тем, что поверхность зажимных устройств после термической обработки подвергается азотированию до глубины слоя 0,2...0,35 мм.

Для защиты от брызг расплавленного металла известно покрытие, состоящее из 10...20 % декстрина, 60...70 % мела и 15...20 % талька.

На Мариупольском заводе металлоконструкций внедрена в производство эмульсия, представляющая собой водный раствор смеси следующих компонентов: каолина (ГОСТ 19607-74), шлака (являющегося отходом при автоматической сварке под флюсом АН-348А), мрамора (ГОСТ 4416-73), аммония молибденовокислого (ГОСТ 3765-78).

На Калужском машиностроительном заводе и Новокраматорском заводе им. Ленина применяется эмульсия, состоящая из концентрата барды и воды в соотношении 1:5 по объему.

Могилевским машиностроительным институтом предложено в качестве защиты поверхности свариваемых деталей от брызг использовать кремний-органическую жидкость ГКЖ-94, выпускаемую промышленностью для различных целей.

Наряду с этим известно большое количество различных смесей, применяемых в качестве покрытий (табл. 2.18).

На Петербургском заводе гидромеханического оборудования применяется состав покрытия для защиты изделия от брызг наплавленного металла, состоящий из 4...6 % едкого натра и водного раствора жидкого стекла плотностью 1,16...1,20.

В ЦНИИ Материалов и технологии тяжелого и транспортного машиностроения разработан состав покрытия для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла, состоящий из 20...46 % огнеупорного наполнителя, 40...75 % поливинилхлоридной смолы и 5...14 % нитрованного масла.

В НИИ Технологии автомобильной промышленности предложен состав покрытия, содержащий 14...17 % углекислого натра, 0,02...0,03 % поверхностно активного вещества, 28...31 % силикатного натрия и воду.

Институтом электросварки им. Е.О. Патона разработан состав покрытия для защиты поверхности от налипания брызг, содержащий 6...10 % кварцевого песка, 10...15 % графита, 9...13 % белой огнеупорной глины, 1...3 % карбоната кальция и воду.

В ПКТБ Химического машиностроения предложен состав покрытия, содержащий 9...13 % двуокиси кремния, 20...24 % хромагнетита, 3...7 % двуокиси циркония, 1...3 % оксида алюминия, 0,1...0,3 % двуокиси титана и магнитофосфатную связку.

Таблица 2.18

*Покрyтия для защиты поверхности свариваемых изделий  
от брызг расплавленного металла*

Покрyтие	Состав покрyтия
МВ	Мел – 35 % (ГОСТ 4415-75), вода – 65 % (ГОСТ 2874-73)
Водный раствор сульфитно-спиртовой барды (КБЖ)	Концентрат сульфитно-спиртовой барды КБЖ – 190г и вода – 1000 г
Эмульсия (ПЗ-1)	Концентрат сульфитно-спиртовой барды КБЖ – 75 г, мыло – 35 г, кальцинированная сода – 25 г и вода – 1000 г
Эмульсия (ПЗ-2)	Концентрат сульфитно-спиртовой барды КБЖ – 85 г, мыло – 35 г, кальцинированная сода – 40 г, каолин – 37,5 г и вода - 1000 г
Эмульсия (ПЗ-3)	Концентрат сульфитно-спиртовой барды – 40...50 г., кальцинированная сода – 30...40 г., декстрин – 80...100 г., отходы абразивного производства (термостойкий наполнитель) – 100...150 г и вода – 1000 г.
АД	Алюминиевая пудра ПАК-1 (ГОСТ 5494-71) – 100 г, декстрин (ГОСТ 6034-74) – 100 г и вода – 1000 г
МЖС	Мел – 30 %, жидкое стекло – 65 %.
АЖС	Алюминиевая пудра ПАК-1 – 50 г, жидкое стекло – 1000 г
ЦЖС	Циркон (ЦМТУ 4469-54) – 30 %, жидкое стекло – 70 %
ЦПР	Циркон – 40%, поливинилбутираль (ГОСТ 9439-73) – 3 %, растворитель-646 (ГОСТ 18188-72) – 57 %.
СК	Силиконовый крем по РТУ 322-57
Покрyтие П1	15...19 % мела, 18...24 % алюмосиликатного шлама, 57...67 % воды
Покрyтие П2	22...24 % подмыленного щелока, 7...10 % хлористого калия, углеводородное вещество парафиностеаринового ряда, жидкое стекло.
Покрyтие П3	37...40 % гидролизованного тетраэтилового эфира ортокремниевой кислоты, 0,4...1,7 % щавелевой кислоты, 54...58 % вермикулита вспученного, остальное – алюминиевая пудра.
Покрyтие П4	11...14 % пенополистерола, 47...50 % тетралина, 31...34 % хромистого серпентита, растворитель из ряда декалин и циркон без примеси железа.
Покрyтие П5	35...45% кварцевого песка, 20...30 % графита, 0,4...1,8 % пиррофосфата натрия, остальное – огнеупорная глина.
Покрyтие П6	35...40 % кварцевого песка, 20...30 % графита, 2...2,5 % оксолат натрия, остальное – огнеупорная глина.
Покрyтие П7	6...8 % сульфатно-спиртовой барды, 6...8 % борной кислоты, 2,5...4,0 % скрытокристаллического графита, 2,5...4,0 % мунгитового порошка, остальное – и вода.

В НПО «Атомкотломаш» разработаны:

а) состав покрытия для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла, состоящий из 50...70 % двуокиси кремния, 0,5...0,3% крахмала и воды.

б) состав для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла, состоящий из 1,5...3,5 % крахмала, 20...30 % алюмосиликатных полых микросфер золы-уноса и воду. Отличие данного покрытия в легконаносимости на вертикальные и потолочные поверхности.

Кроме всех вышеперечисленных, известны также следующие защитные покрытия:

а) состав для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла (при вибродуговой наплавке), содержащий обезжелезненный циркон 10...15 %, кубовые остатки производства хлорсиланов 5...7 %, этиловый спирт 12...15 % и ваграночную пыль;

б) состав для защиты металлической поверхности от загрязнений (на базе триполифосфата натрия, алкилсульфата, жидкого стекла и воды, обеспечивающий повышение термостойкости антиадгезионного покрытия);

в) состав для защиты поверхности от налипания брызг расплавленного металла, содержащий маршалит, декстрин, воду и дополнительно для снижения разбрызгиваемости и улучшения экологических условий труда – 2...5 % тринатрийфосфата и 0,5...3 % хромовокислого калия.

Как показывает производственный опыт, защитные покрытия должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) не содержать дорогих и дефицитных материалов;
- 2) вещества, входящие в покрытие, должны быть негорючими, невзрывоопасными и при сварке не должны выделять большого количества вредных газов;
- 3) технология приготовления смеси должна быть простой;
- 4) не терять своих свойств при относительно длительном хранении;
- 5) обеспечивать хорошую смачиваемость и равномерно ложиться на свариваемые детали без образования утолщений;
- 6) исключить (или резко уменьшить) прилипание брызг к свариваемому металлу;
- 7) не влиять на механические свойства сварного соединения и на химический состав шва;
- 8) легко удаляться с детали и т.д.

Исследованиями установлено: наиболее полно всем предъявляе-

мым требованиям отвечают покрытия ПЗ-1, ПЗ-2 и ПЗ-3, которые рекомендованы для широкого внедрения в сварочное производство.

### **2.7.3. АРГОНОДУГОВАЯ СВАРКА**

Аргонодуговая сварка – дуговая сварка, при которой в качестве защитного газа используется аргон. Применяют аргонодуговую сварку неплавящимся вольфрамовым и плавящимся электродами. Аргонодуговая сварка вольфрамовым электродом может быть ручной и автоматической. Сварка возможна без подачи и с подачей присадочной проволоки. Этот процесс предназначен главным образом для металлов толщиной менее 3–4 мм. Большинство металлов сваривают на постоянном токе прямой полярности. Сварку алюминия, магния и бериллия ведут на переменном токе.

При прямой полярности (плюс на изделии, минус на электроде) лучше условия термоэлектронной эмиссии, выше стойкость вольфрамового электрода и допускаемый предельный ток. Допускаемый ток при использовании вольфрамового электрода диаметром 3 мм составляет ориентировочно при прямой полярности 140–280 А, обратной – только 20–40 А, при переменном токе – промежуточное значение 100–160 А. Дуга на прямой полярности легко зажигается и горит устойчиво при напряжении 10–15 В в широком диапазоне плотностей тока.

При обратной полярности возрастает напряжение дуги, уменьшается устойчивость ее горения, резко уменьшается стойкость электрода, повышаются его нагрев и расход. Эти особенности дуги обратной полярности делают ее непригодной для непосредственного применения в сварочном процессе. Однако дуга обратной полярности обладает важным технологическим свойством: при ее действии с поверхности свариваемого металла удаляются окислы и загрязнения. Это явление объясняется тем, что при обратной полярности поверхность металла бомбардируется тяжелыми положительными ионами аргона, которые, перемещаясь под действием электрического поля от плюса (электрод) к минусу (изделие), разрушают окисные пленки на свариваемом металле, а выходящие с катода (поверхности изделия) электроны способствуют удалению разрушенных окисных пленок. Этот процесс удаления окислов называется катодным распылением. Указанное свойство дуги обратной полярности используют при сварке Al, Mg, Be и их сплавов, имеющих прочные окисные пленки. Но так как при постоянном токе обратной полярности стойкость вольфрамового электрода низка, то для этой цели используют переменный ток. При этом удаление пленки, т.е. катодное распыление, происходит, когда свариваемое изделие является катодом.

Таким образом, при сварке неплавящимся электродом на переменном токе в определенной степени реализуются преимущества дуги прямой и обратной полярности, при этом обеспечивается и устойчивость электрода, и разрушение окисных пленок.

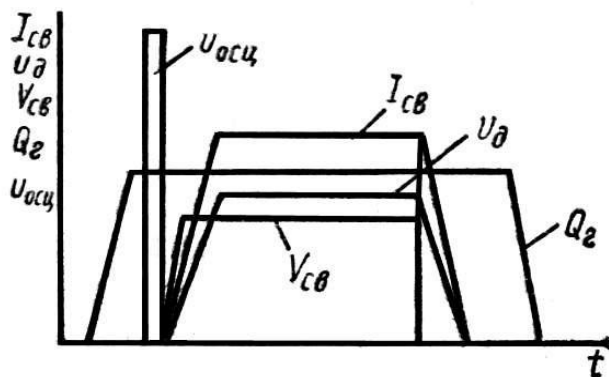


Рис. 2.66. Циклограмма сварки в защитных газах неплавящимся электродом:  $I_{св}$  – сварочный ток,  $U_{д}$  – напряжение дуги,  $V_{св}$  – скорость сварки,  $Q_г$  – расход защитного газа,  $U_{осц}$  – напряжение осциллятора

Технология аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом. На рисунке 2.66 дана характерная циклограмма процесса аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом. На циклограмме показано изменение основных параметров процесса ручной сварки: сварочного тока  $I_{св}$  напряжения дуги  $U_{д}$ , скорости подачи присадочной проволоки  $V_{пп}$ , скорости сварки  $V_{св}$ , расхода аргона  $Q_г$ , дополнительного параметра – напряжения осциллятора  $U_{осц}$  в течение цикла сварки  $t$ . Газ подают за 10 – 15 с до начала горения дуги, давление газа составляет  $(1,1-1,3) \cdot 10^5$  Па, средний расход газа для защиты зоны сварки – 10–15 л/мин, для обратной стороны шва – 30 – 50 % от основного расхода.

Дуга возбуждается замыканием электрода и металла угольным стержнем или кратковременным разрядом высокой частоты и напряжения с помощью осциллятора.

Ручную сварку выполняют наклонной горелкой углом вперед, угол наклона к поверхности изделия составляет 70–80°. Присадочную проволоку подают под углом 10–15° (рис. 2.67). По окончании сварки дугу постепенно обрывают для заварки кратера, при ручной сварке – ее постепенным растяжением, при автоматической – специальным устройством заварки кратера, обеспечивающим постепенное уменьшение сварочного тока. Для защиты охлаждающегося металла подачу газа прекращают через 10–15 с после выключения тока.



*Рис. 2.67. Расположение горелки и присадочного прутка при ручной аргонодуговой сварке*

Примерный режим ручной аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом стыкового соединения из высоколегированной стали толщиной 3 мм: диаметр вольфрамового электрода 3–4 мм, диаметр присадочной проволоки 1,6–2 мм, сварочный ток 120–160 А, напряжение на дуге 12–16 В, расход аргона 6–7 л/мин.

Аргонодуговой сваркой выполняют швы стыковых, тавровых и угловых соединений. При толщине листа до 2,5 мм целесообразно сваривать с отбортовкой кромок, при малой величине зазора (0,1–0,5 мм) можно сваривать тонколистовой металл толщиной от 0,4 до 4 мм без разделки кромок. Допустимый зазор тем меньше, чем меньше толщина свариваемого материала. Листы толщиной более 4 мм сваривают встык с разделкой, при этом допустимый зазор должен быть не более 1,0 мм.

Разработано несколько разновидностей аргонодуговой сварки вольфрамовым электродом, основанных на увеличении проплавляющей способности дуги за счет увеличения интенсивности теплового и силового воздействия дуги на свариваемый металл. К этим разновидностям относятся следующие виды сварки: сварка погруженной дугой, с применением флюса, при повышенном давлении защитной атмосферы, импульсно-дуговая, плазменная сварка.

Сварка погруженной дугой. С увеличением диаметра электрода и силы тока увеличивается давление дуги и удельное количество вводимой теплоты. Под давлением дуги происходит оттеснение под электродом жидкого металла. Дуга при этом погружается в сварочную ванну, а поддержание заданного напряжения (длины дуги) достигается опусканием электрода ниже поверхности свариваемого металла. Глубина проплавления достигает 10–12 мм и выше, расход аргона в сопло горелки составляет 15–20 л/мин, вставку для защиты остывающего шва

15–30 л/мин и на обратную сторону шва 6–10 л/мин.

Сварка с применением флюса. Нанесение на поверхность свариваемого металла слоя флюса небольшой толщины (0,2–0,5 мм), состоящего из соединений фтора, хлора и некоторых окислов, способствует повышению сосредоточенности теплового потока в пятне нагрева и увеличению проплавляющей способности дуги. При этом, благодаря концентрации тепловой энергии, повышается эффективность проплавления и снижаются затраты погонной энергии при сварке.

Сварка при повышенном давлении защитной атмосферы. Мощность дуги возрастает с увеличением давления защитной атмосферы при неизменном токе и длине дуги. Дуга при этом сжимается, благодаря чему увеличивается ее проплавляющая способность примерно на 25–60 %. Этот способ можно использовать при сварке в камерах с контролируемой атмосферой.

Импульсно-дуговая сварка вольфрамовым электродом заключается в применении в качестве источника теплоты импульсной (пульсирующей) дуги с целью концентрации во времени теплового и силового воздействия дуги на основной и электродный металл. При стесненном теплоотводе полнее используется теплота на расплавление основного металла, чем при сварке постоянной дугой.

Дуга пульсирует с заданным соотношением импульса и паузы (рис. 2.68). Сплошной шов получается расплавлением отдельных точек с определенным перекрытием. Повторные возбуждения и устойчивость дуги обеспечиваются благодаря горению маломощной дежурной дуги (10–15 % от силы тока в импульсе). Наряду с силой тока, напряжением, скоростью сварки к основным параметрам импульсно-дуговой сварки относятся длительность импульса ( $t_{CB}$ ) и паузы ( $t_{П}$ ), длительность цикла сварки  $t = t_{CB} + t_{П}$  и шаг точек  $S = V_{CB}(t_{CB} + t_{П})$ , где  $V_{CB}$  – скорость сварки. Отношение  $t_{П}/t_{CB} = G$  называется жесткостью режима. Жесткость режима при заданной энергии импульса и длительности цикла характеризует проплавляющую способность дуги. Изменяя параметры режима импульсно-дуговой сварки, можно в широких пределах изменять кристаллизацию металла и таким образом влиять на свойства сварных соединений. Технологические преимущества сварки импульсной дугой вольфрамовым электродом в наибольшей степени проявляются при сварке тонколистовых материалов: практически отсутствуют дефекты формирования шва, провисание и подрезы, улучшаются условия формирования шва в различных пространственных положениях, снижаются требования к квалификации сварщика при ручной сварке.

Так как для сварки металла определенной толщины требуется значительно меньшая погонная энергия, существенно уменьшаются де-

формации и прожоги тонколистовых материалов. Таким образом, импульсно-дуговая сварка вольфрамовым электродом предназначена главным образом для регулирования проплавления основного металла и формирования шва при сварке тонколистового металла.

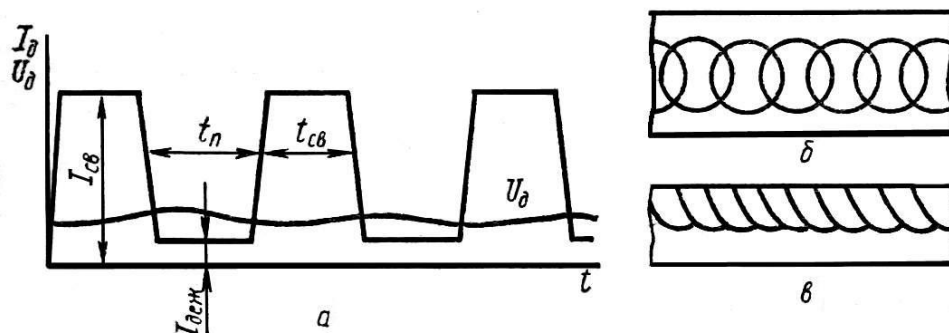


Рис. 2.68. Изменение сварочного тока и напряжения при импульсной сварке вольфрамовым электродом (а) и вид швов (б, в):  $I_{св}$  – сварочный ток,  $I_{деж}$  – ток дежурной дуги,  $t_n$  – время паузы,  $t_{св}$  – время сварки

**Аргонодуговая сварка плавящимся электродом.** Область применения этого вида – сварка цветных металлов (Al, Mg, Cu, Ti и их сплавов) и легированных сталей.

Сварка происходит с капельным и струйным переносом. С увеличением тока капельный перенос металла электрода сменяется струйным, и глубина проплавления увеличивается. Критическая величина тока, при которой капельный перенос сменяется струйным, составляет при сварке сталей от 60 до 120 А на 1 мм<sup>2</sup> сечения электродной проволоки, при сварке алюминия – 70 А.

Например, для проволоки марки Св-12Х18Н9Т разных диаметров при горении дуги в среде аргона критический ток имеет следующие значения (таблица 2.19).

Таблица 2.19  
Значения критического тока для проволоки Св-12Х18Н9Т  
при сварке в среде аргона

Диаметр электрода, мм	1,0	2,1	3,0
Критический ток, А	190	280	350

При аргонодуговой сварке плавящимся электродом предъявляются более жесткие требования к сборке, чем при сварке вольфрамовым электродом, перед сваркой необходима тщательная очистка кромок свариваемых материалов и проволоки.



### 3. ГАЗОВАЯ СВАРКА И КИСЛОРОДНАЯ РЕЗКА

#### 3.1. ОБОРУДОВАНИЕ И АППАРАТУРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

*Газовой сваркой* называется сварка плавлением, при которой нагрев кромок соединяемых частей и присадочного материала производится теплотой сгорания горючих газов в кислороде. Сущность процесса газовой сварки представлена на рисунке 3.1.

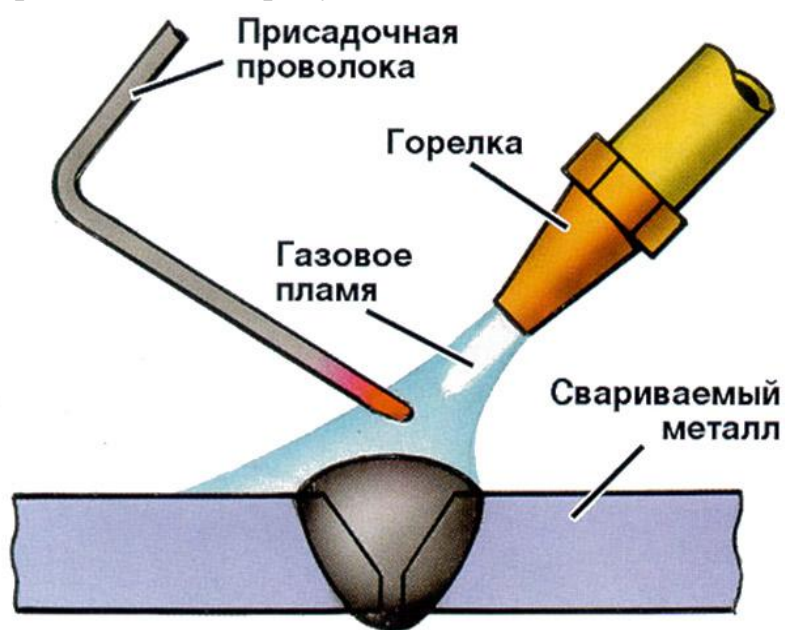


Рис. 3.1. Сущность процесса газовой сварки

Газовая сварка классифицируется по виду применяемого горючего газа (ацетиленокислородная, керосинокислородная, бензинокислородная, пропанобутано-кислородная и др.). Большое применение получили газовые сварки – ацетиленокислородная и пропанобутанокислородная.

Для производства работ по газовой сварке сварочные посты должны иметь следующее оборудование и инвентарь: ацетиленовый генератор или баллон с горючим газом, кислородный баллон, редукторы (кислородный и для горючего газа), сварочную горелку с набором сменных наконечников, шланги для подачи горючего газа и кислорода в горелку, сварочный стол, приспособления, необходимые для сборки изделий под сварку, комплект инструментов сварщика, очки с защитными стеклами, спецодежду сварщика.

*Ацетиленовый генератор* – аппарат, предназначенный для получения ацетилена при взаимодействии карбида кальция с водой.

Ацетиленовые генераторы различают по следующим признакам: по давлению получаемого ацетилена – генераторы низкого давления до 0,02 МПа и среднего давления 0,01... 0,15 МПа; по производительности – выпускаемые генераторы, которые дают 0,3...640 м<sup>3</sup>/ч ацетилена (на заводах и строительных площадках чаще применяют генераторы производительностью 1,25 м<sup>3</sup>/ч); по способу установки – генераторы передвижные и стационарные; по принципу взаимодействия карбида кальция с водой – генераторы, работающие по принципам «карбид в воду» (КВ), «вода на карбид» (ВК) и контактные (К).

На рисунке 3.2. представлены принципиальные схемы генераторов.

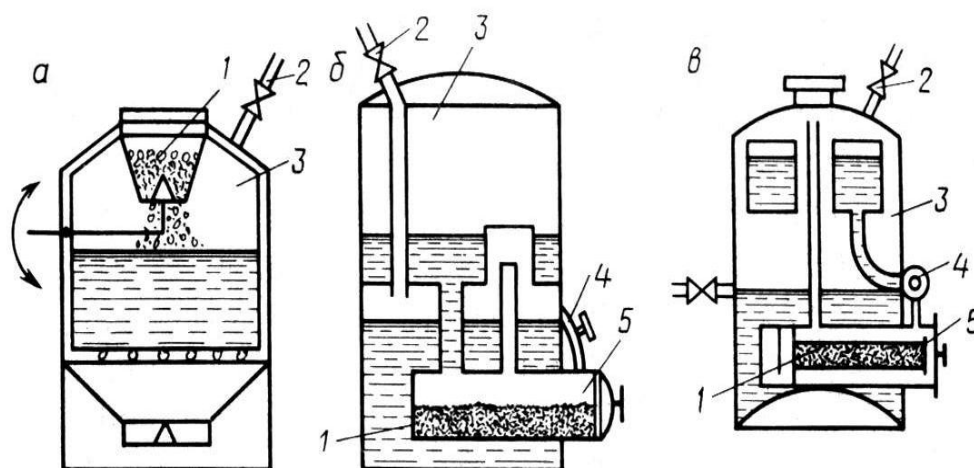


Рис. 3.2. Принципиальные схемы ацетиленовых генераторов:  
1 – карбид кальция, 2 – отбор газа, 3 – газосборник, 4 – подача воды,  
5 – реторта

Принцип КВ (рис. 3.2, а) предусматривает периодическую (порциями) подачу в воду карбида кальция. При этом достигается наибольший выход ацетилена (до 95 %).

Принцип ВК (рис. 3.2, б) осуществляется периодической подачей порций воды в загрузочное устройство, куда заранее насыпается карбид кальция.

Принцип К (рис. 3.2, в) предусматривает периодическое соприкосновение и взаимодействие карбида кальция с водой. Применяют два варианта: «вытеснение воды» (для разобщения воды и карбида кальция) и «погружение карбида» (для получения контакта воды с карбидом кальция). Контактный принцип осуществляется автоматически и широко используется в передвижных генераторах, но по сравнению с другими принципами он дает меньший выход ацетилена.

Ацетилен может поставляться к сварочному посту также либо по трубопроводу, либо в ацетиленовых баллонах вместимостью 40 л, в которых при максимальном давлении 1,9 МПа содержится около 5,5 м<sup>3</sup> ацетилена. Для обеспечения безопасного хранения и транспортирования ацетилена баллон заполняют пористым активизированным углем, а для увеличения количества ацетилена в баллоне активизированную пористую массу пропитывают растворителем – ацетоном (один объем ацетона растворяет 23 объема ацетилена). Баллон окрашен в белый цвет и на нем сделана надпись «Ацетилен».

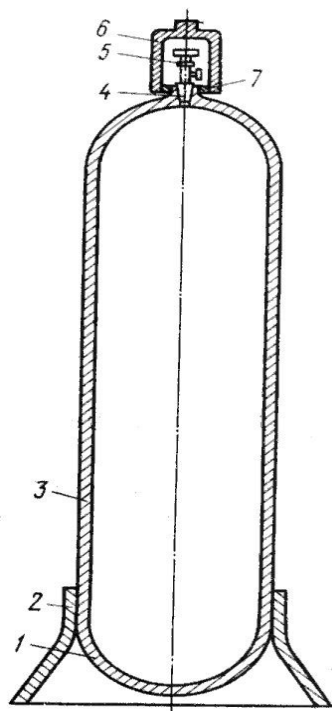


Рис. 3.3. Газовый баллон

Кислород подается к посту сварки либо от кислородной рампы, либо от кислородного баллона вместимостью 40 л, в котором при максимальном давлении 15,15 МПа содержится 6 м<sup>3</sup> кислорода. Баллон окрашен в голубой цвет и имеет черную надпись «Кислород».

Баллон (рис. 3.3) для газов (горючего и кислорода) изготавливают по ГОСТ 949-73 из стальных бесшовных труб. Он представляет собой цилиндрический сосуд 3 с выпуклым днищем 1 и узкой горловиной. Для придания баллону устойчивости в рабочем (вертикальном) положении на его нижнюю часть напрессован башмак 2 с квадратным основанием. Горловина баллона имеет конусное отверстие с резьбой 4, куда ввертывается запорный вентиль 5 – устройство, позволяющее наполнять баллон газом и регулировать его расход.

Для различных газов принята определенная конструкция вентиля. Различная резьба хвостовика исключает возможность установки на баллон не соответствующего ему вентиля. Вентиль кислородного баллона изготавливают из латуни, так как она обладает высокой коррозионной стойкостью в среде кислорода. Вентиль ацетиленового баллона изготавливают из стали, так как сплавы меди, содержащие более 70 % меди, при контакте с ацетиленом образуют взрывоопасную ацетиленовую медь. На горловину баллона плотно насажено кольцо 7 с наружной резьбой для навинчивания предохранительного колпака 6. Вентиль кислородного баллона используется также для баллонов с азотом, аргоном и углекислым газом. Редукторы служат для понижения давления газа, поступающего из баллона, до рабочего давления газа (подаваемого через шланг в горелку) и для поддержания этого давления постоянным в процессе сварки.

В практике применяют различные типы редукторов. На рисунке 3.4, а, б представлена схема однокамерного редуктора. Газ из баллона через штуцер проходит в камеру высокого давления 1 корпуса 10. При нерабочем положении частей редуктора (рис. 3.4, а) проход газа из камеры высокого давления 1 в камеру низкого давления 4 закрыт клапаном 2, прижатым к седлу 3. При ввертывании регулировочного винта 9 в крышку 7 корпуса (рис. 3.4, б) нажимная пружина 8 сжимается и перемещает вверх резиновую мембрану 6 вместе с передаточным штифтом 5. Штифт открывает клапан 2, соединяя тем самым камеру высокого давления с камерой низкого давления. Газ поступает в камеру 4 до тех пор, пока давление его на мембрану не уравнивает усилие нажимной пружины. В этом положении расход и поступление газа будут равны. Если расход газа уменьшается, то давление в камере 4 повышается. Давление газа отожмет мембрану вниз и сожмет нажимную пружину 8. Клапан 2 закроет отверстие седла, и поступление газа в камеру 4 прекратится. При увеличении расхода газа давление в камере 4 понижается, мембрана отжимает клапан от седла, тем самым увеличивая поступление газа из баллона. Таким образом, автоматически поддерживается постоянное давление газа, подаваемого в горелку.

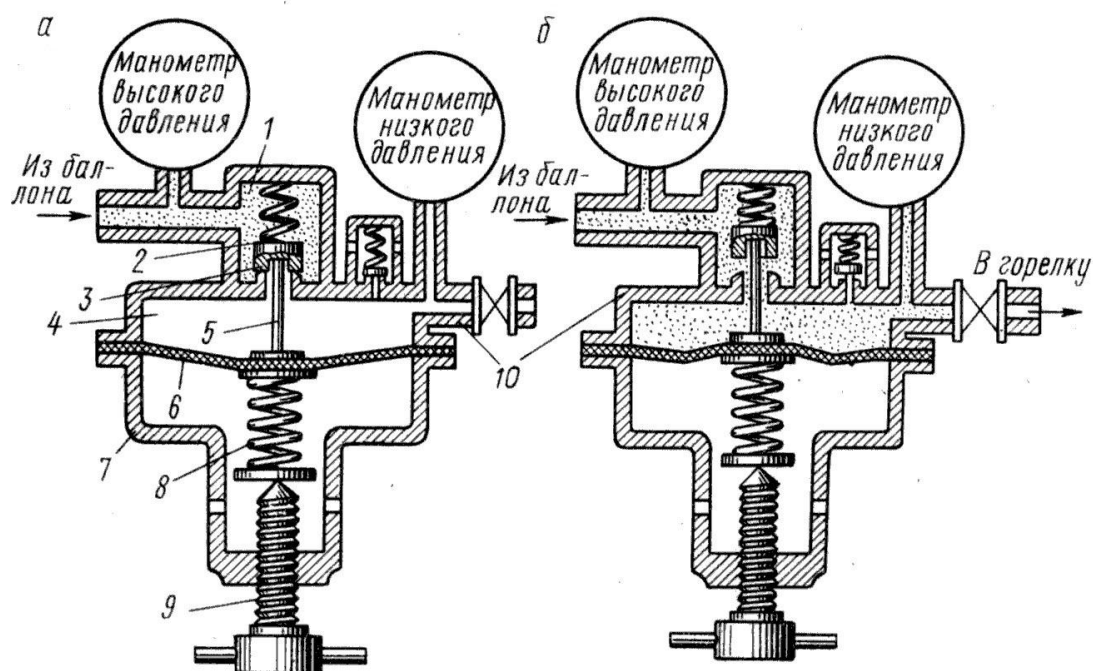


Рис. 3.4. Однокамерный газовый редуктор

Кислородный баллонный редуктор типа ДКП-1-65 предназначен для питания газом одного поста. Наибольшее допустимое давление газа на входе в редуктор — 20 МПа, наименьшее — 3 МПа. Рабочее давление —

0,1...1,5 МПа. При наибольшем рабочем давлении расход газа составляет 60 м<sup>3</sup>/ч, а при наименьшем – 7,5 м<sup>3</sup>/ч. Редуктор окрашен в голубой цвет и крепится к баллону с помощью накидной гайки. В настоящее время выпускают более совершенные редукторы типа ДКП-2-78 с той же технической характеристикой. Ацетиленовый баллонный редуктор типа ДАП-1-65 рассчитан на наибольшее давление на входе 3 МПа. Расход газа при наибольшем рабочем давлении 0,12 МПа составляет 5 м<sup>3</sup>/ч, а при наименьшем рабочем давлении 0,01 МПа – 3 м<sup>3</sup>/ч. Редуктор окрашен в белый цвет и крепится на баллоне с помощью хомута.

Шланги (рукава) для кислорода и ацетилена стандартизованы. Предусмотрено три типа шлангов: для подачи ацетилена при рабочем давлении не более 0,6 МПа; для жидкого топлива (бензин, керосин) при рабочем давлении не более 0,6 МПа; для подачи кислорода при рабочем давлении не более 1,5 МПа. Рукава состоят из внутреннего резинового слоя (камеры), нитяной оплетки и наружного резинового слоя.

Применяются шланги следующих размеров (табл. 3.1).

Таблица 3.1

*Размеры шлангов*

Внутренний диаметр, мм	6	9	12	16
Наружный диаметр, мм	12	18	22,5	26

Наружный слой ацетиленовых рукавов красного цвета, рукавов для жидкого топлива – желтого, кислородных – синего. Длина шланга при работе от баллона должна быть не менее 8 м, а при работе от генератора – не менее 10 м; наибольшая допустимая длина – 40 м.

Крепление рукавов на ниппелях горелок и между собой осуществляется специальными хомутами или мягкой отоженной проволокой.

*Сварочная горелка* предназначена для правильного смешивания горючего газа или паров горючей жидкости с кислородом и получения устойчивого сварочного пламени требуемой мощности.

Горелки классифицируются:

- *по способу подачи горючего в смесительную камеру* – инжекторные и безынжекторные;
- *по назначению* – универсальные (для сварки, наплавки, пайки, подогрева и других работ) и специализированные;
- *по роду применяемого горючего*;
- *по числу рабочего пламени* – однопламенные и многопламенные;

- *по мощности*, определяемой расходом ацетилена (л/ч), – микро-мощности (5...60), малой (25...700), средней (50...2500) и большой мощностей (2500...7000); *по способу применения* – ручные и машинные.

Для производства ручной газопламенной обработки большое применение получили ацетиленокислородные инжекторные горелки (рис. 3.5). Они работают по принципу подсоса горючего газа, давление которого может быть ниже 0,01 МПа, т. е. ниже минимальных давлений, установленных для подвижных ацетиленовых генераторов. Давление кислорода должно быть в пределах 0,15...0,5 МПа.

Безынжекторные горелки (рис. 3.5, б) работают на горючем газе и кислороде, поступающих в смесительную камеру под одинаковым давлением в пределах 0,01...0,1 МПа, т.е. требуют питания горючим среднего давления. Для нормальной работы такой горелки в систему питания включают регулятор, обеспечивающий равенство рабочих давлений кислорода и горючего газа.

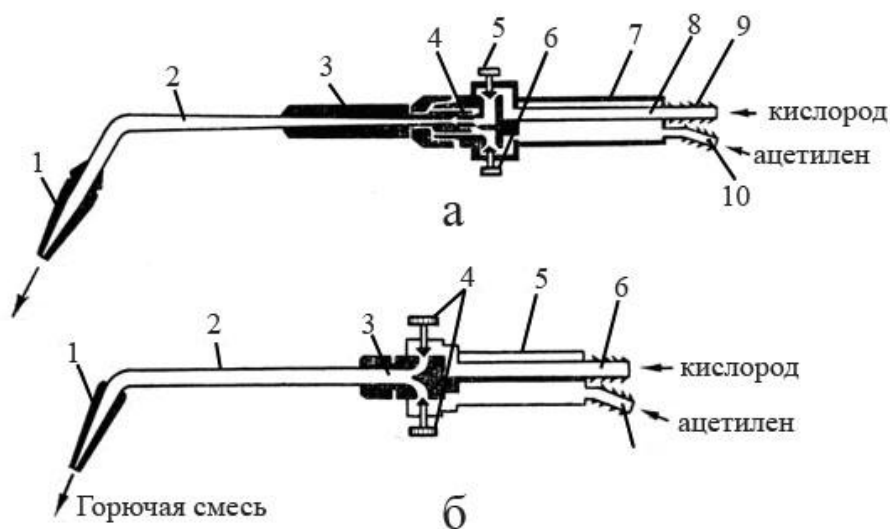


Рис. 3.5. Схемы устройства сварочных горелок: а – инжекторная горелка: 1 – мундштук; 2 – трубка наконечника; 3 – смесительная камера; 4 – инжектор; 5 и 6 – регулировочные вентили; 7 – ствол; 8 – трубка; 9 – ниппель для подачи ацетилена; б – безынжекторная горелка: 1 – мундштук; 2 – наконечник; 3 – смесительная камера; 4 – регулировочные вентили; 5 – ствол; 6 – ниппель для подачи кислорода; 7 – ниппель для подачи ацетилена

Конструкция инжекторной горелки показана на рисунке 3.5, а. Согласно этой схеме кислород под давлением 0,2–0,5 МПа (2–5 кгс/см<sup>2</sup>) подается через ниппель 9, трубку 8 и вентиль 5, затем поступает в осевой канал инжектора 4 и с большой скоростью, порядка 250–300 м/с, попадает в смесительную камеру 3, создавая разрежение от 80 до

300 мм рт. ст. в канале горючего газа, вследствие чего последний через ниппель 10, ствол горелки 7 и зазор, образованный инжектором и смесительной камерой, подсасывается в смесительную камеру. Образовавшаяся горючая смесь по трубке наконечника 2 попадает в мундштук 1, образуя на выходе из него при сгорании сварочное пламя. Вентили горелки 5 и 6 позволяют в определенных пределах регулировать расход горючего газа и кислорода.

Инжекторное устройство является наиболее ответственным узлом, от которого зависит устойчивость работы горелки в целом. Нарушение работы этого узла, которое может быть вызвано изменением зазора между поверхностями конического торца инжектора и конуса смесительной камеры, чистотой этих поверхностей, увеличением размеров канала инжектора, приводит к возникновению обратных ударов пламени, снижению запаса ацетилена в горючей смеси и т.п.

### 3.2. СВАРОЧНОЕ ПЛАМЯ

Для сварки и резки металлов применяют следующие газы.

*Кислород* при газовой сварке применяется для получения горючей смеси. Он способствует интенсивному горению горючих газов и получению высокотемпературного пламени. При горении газов в воздухе температура пламени значительно ниже, чем при горении в кислороде. При газовой сварке применяют газообразный технический кислород трех сортов (ГОСТ 5583-78). Первый сорт имеет чистоту не ниже 99,7 % по объему; второй сорт – не ниже 99,5 %, а третий сорт – не ниже 99,2 %. Технический кислород содержит примеси, состоящие из азота и аргона. Следует учесть важное значение чистоты кислорода при сварке и резке металла. Снижение чистоты кислорода на 1% не только ухудшает качество сварного шва, но и требует увеличения расхода кислорода на 1,5%. Кислород при атмосферном давлении и нормальной температуре представляет собой газ без цвета и запаха с плотностью 1,43 кг/м<sup>3</sup>. Его получают из воздуха методом низкотемпературной ректификации, основанном на разности температур кипения основных составляющих воздуха – азота (минус 195,8 °С) и кислорода (минус 182,96 °С). Воздух переводят в жидкое состояние и затем постепенным повышением температуры испаряют азот (78 %). Оставшийся кислород (21 %) очищают многократным процессом ректификации до требуемой чистоты.

Некоторые свойства горючих газов, применяемых при газовой сварке, приведены в таблице 3.2.

*Ацетилен* в газосварочном производстве получил наибольшее распространение благодаря важным для сварки качествам (высокая темпе-

ратура пламени, большая теплота сгорания). Он представляет собой химическое соединение углерода с водородом ( $C_2H_2$ ). Это бесцветный газ с характерным запахом, обусловленным наличием примесей (сероводорода фтористого водорода и др.).

Таблица 3.2

*Свойства горючих газов, применяемых при газовой сварке*

Наименование газа	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Низшая теплотасгорания топлива, МДж/м <sup>3</sup>	Температура пламени, °С
Ацетилен	1,09	52,9	3150
Водород	0,084	10,1	2100
Пиролизный газ	0,65...0,85	31,5...33,6	2300
Нефтяной газ	0,63...1,45	42,0...56,7	2300
Природный газ	0,7...0,9	31,5...33,6	2000
Городской газ	0,84...1,05	17,2...21,1	2000
Пропан-бутановая смесь	1,92	89	2100
Керосин	0,82...0,84 кг/дц <sup>3</sup>	42...42,8 МДж/кг	2500
Бензин	0,7...0,75 кг/дц <sup>3</sup>	42,8...44,1 МДж/кг	2600

Ацетилен взрывоопасен при следующих условиях: нагревании до 480...500 °С, давлении 0,14...0,16 МПа при наличии 2,3...80,7 % ацетилена в смеси с воздухом; при наличии 2,8...93 % ацетилена в смеси с кислородом.

Ацетилен получают при взаимодействии карбида кальция с водой по реакции  $CaC_2 + 2H_2O = C_2H_2 + Ca(OH)_2$ .

Карбид кальция (ГОСТ 1460-81) получают путем сплавления в электропечах кокса и обожженной извести  $CaO + 3C = CaC_2 + CO$ .

Карбид кальция очень активно вступает в реакцию с водой, реагируя даже с парами воды, насыщающими воздух. Поэтому его хранят и транспортируют в герметически закрытых стальных барабанах, содержащих 50...130 кг карбида.

Из 1 кг карбида кальция в зависимости от сорта и грануляции получают 235...280 л ацетилена. Следует иметь в виду, что мелкий и пылеобразный карбид кальция применять запрещается (взрывоопасно). Для взаимодействия 1 кг карбида кальция теоретически необходимо 0,56 л воды, практически берут 7...20 л воды. Это обеспечивает хорошее охлаждение ацетилена и более безопасную работу газогенератора.

*Водород* – газ без цвета и запаха. В смеси с кислородом или воздухом он образует взрывчатую смесь (так называемый гремучий газ), поэтому требует строгого соблюдения правил техники безопасности. Водород хранится и транспортируется в стальных баллонах при максимальном давлении 15 МПа. Получают его электролизом воды или в



специальных водородных генераторах путем воздействия серной кислотой на железную стружку или цинк.

*Пиролизный газ* – смесь газообразных продуктов термического разложения нефти, нефтепродуктов или мазута. Содержит вредные сернистые соединения, вызывающие коррозию мундштуков горелок и резачков, поэтому требует тщательной очистки.

*Нефтяной газ* – смесь горючих газов, являющихся побочным продуктом нефтеперерабатывающих заводов. Его применяют для сварки, резки и пайки сталей толщиной до 3 мм и сварки цветных металлов.

*Природный газ* получают из газовых месторождений. Он состоит в основном из метана (93...99 %).

*Пропан-бутановую смесь* получают при добыче и переработке естественных нефтяных газов и нефти. Хранят и транспортируют в сжиженном состоянии в баллонах вместимостью 40 и 55 л под давлением 1,6... 1,7 МПа. Жидкой смесью заполняют только половину баллона, так как при нагреве значительное повышение давления может привести к взрыву баллона.

*Бензин и керосин* используют при газопламенной обработке в виде паров. Для этой цели горелки и резачки имеют специальные испарители, которые нагреваются от вспомогательного пламени или электрическим током.

Сварочное пламя образуется при сгорании выходящей из мундштука горелки смеси горючего газа (или паров горючей жидкости) с кислородом. Свойства сварочного пламени зависят от того, какое горючее подается в горелку и при каком соотношении кислорода и горючего создается газовая смесь. Изменяя количество подаваемого в горелку кислорода и горючего газа, можно получить нормальное, окислительное или науглероживающее сварочное пламя.

Нормальное (или восстановительное) пламя теоретически должно получаться при объемном отношении количества кислорода к ацетилену ( $\beta = 1$ ). Практически вследствие загрязненности кислорода нормальное пламя получается при несколько большем количестве кислорода, т.е. при  $\beta = 1,1...1,3$ . Нормальное пламя способствует раскислению металла сварочной ванны и получению качественного сварного шва. Поэтому большинство металлов и сплавов сваривают нормальным пламенем.

*Нормальное ацетиленокислородное пламя* (рис. 3.6) состоит из трех зон: ядра (1), восстановительной зоны (2) и факела (3). Форма ядра – конус с закругленной вершиной, имеющей светящуюся оболочку. Ядро состоит из продуктов распада ацетилена с выделившимися раскаленными частицами углерода, которые сгорают в наружном слое оболочки.

Длина ядра зависит от скорости истечения горючей смеси из мундштука горелки. Чем больше давление газовой смеси, тем больше скорость истечения, тем длиннее ядро пламени.

Восстановительная зона по своему темному цвету заметно отличается от ядра. Она состоит в основном из оксида углерода и водорода, получающихся в результате частичного сгорания ацетилена:  $C_2H_2 + O_2 = 2CO + H_2$ . В этой зоне создается наивысшая температура пламени (3000 °С) на расстоянии 3...5 мм от конца ядра. Этой частью пламени производят нагревание и расплавление свариваемого металла. Находящиеся в этой зоне частицы оксида углерода и водорода могут восстанавливать образующиеся оксиды металлов.

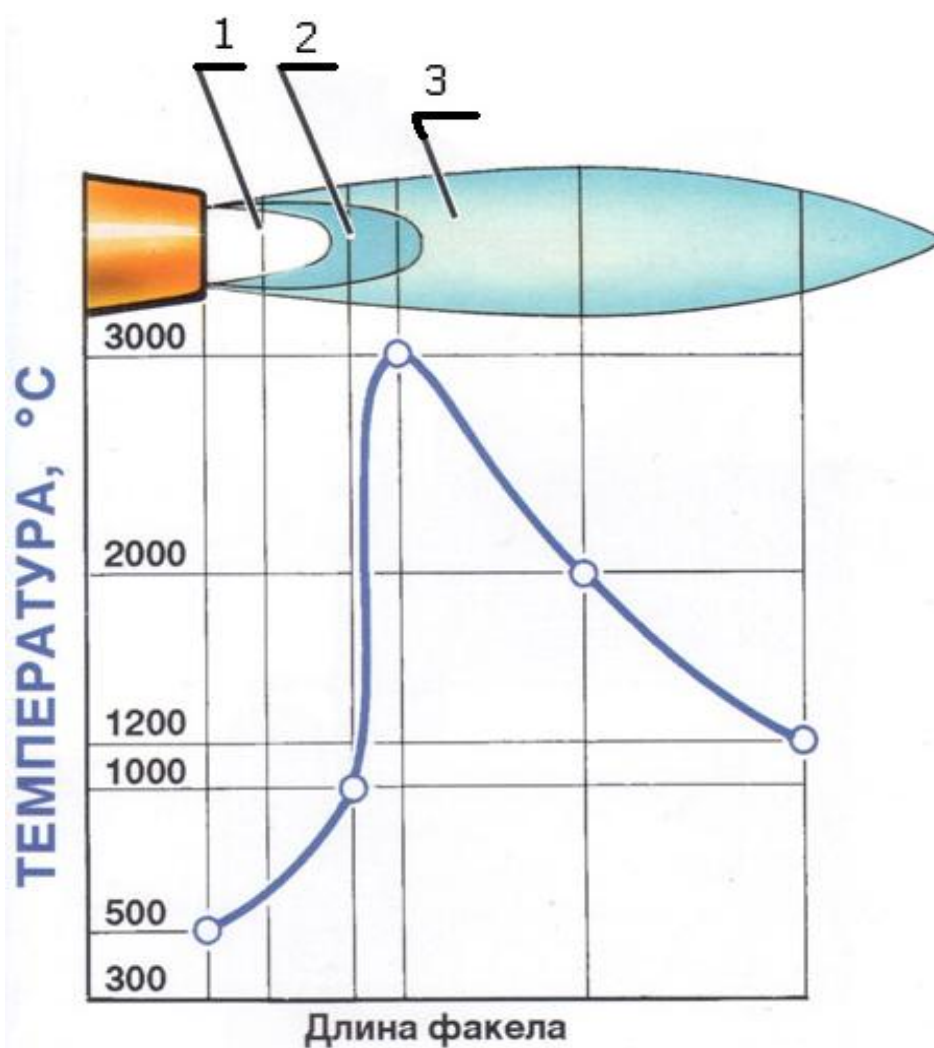


Рис. 3.6. Строение ацетиленокислородного пламени:  
1 – ядро; 2 – восстановительная зона; 3 – факел

Факел располагается за восстановительной зоной и состоит из углекислого газа и паров воды, которые получают в результате сгорания

оксида углерода и водорода, поступающих из восстановительной зоны. Сгорание происходит за счет кислорода, содержащегося в окружающем воздухе. Зона факела содержит также азот, попадающий из воздуха.

*Окислительное пламя* получается при избытке кислорода, когда  $\beta > 1,3$ . Ядро такого пламени значительно короче по длине, с недостаточно резким очертанием и более бледной окраской. Восстановительная зона и факел пламени также сокращаются по длине. Пламя имеет синевато-фиолетовую окраску. Температура пламени несколько выше нормальной. Однако таким пламенем сваривать стали нельзя, так как наличие в пламени избыточного кислорода приводит к окислению расплавленного металла шва, а сам шов получается хрупким и пористым.

*Науглероживающее пламя* получается при избытке ацетилена,  $\beta < 1,1$ . Ядро такого пламени теряет резкость своего очертания, и на его вершине появляется зеленоватый ореол, свидетельствующий о наличии избыточного ацетилена. Восстановительная зона значительно светлеет, а факел получает желтоватую окраску. Очертания зон теряют свою резкость. Избыточный ацетилен разлагается на углерод и водород. Углерод легко поглощается расплавленным металлом шва. Поэтому таким пламенем пользуются для науглероживания металла шва или восполнения выгорания углерода.

Регулирование сварочного пламени производится по его форме и окраске. Важное значение имеет правильный выбор давления кислорода, его соответствие паспорту горелки и номеру наконечника. При высоком давлении кислорода смесь вытекает с большой скоростью, пламя отрывается от мундштука, происходит выдувание расплавленного металла из сварочной ванны. При недостаточном давлении кислорода скорость исчисления горючей смеси падает, пламя укорачивается и возникает опасность обратных ударов. Нормальное пламя можно получить из окислительного, постепенно увеличивая поступление ацетилена до образования яркого и четкого ядра пламени. Можно отрегулировать нормальное пламя и из науглероживающего, убавляя подачу ацетилена до исчезновения зеленоватого ореола у вершины ядра пламени. Характер пламени выбирают в зависимости от свариваемого металла. Например, при сварке чугуна и наплавке твердых сплавов применяют науглероживающее пламя, а при сварке латуни – окислительное пламя.

Важным показателем сварочного пламени является его тепловая мощность. Мощность пламени принято определять расходом ацетилена (л/ч), а удельной мощностью пламени называют часовой расход ацетилена в литрах, приходящейся на 1 мм толщины свариваемого металла. Потребная мощность пламени зависит от толщины свариваемого металла и его теплопроводности. Например, при сварке углеродистых и низ-

колегированных сталей, чугуна, сплавов меди и алюминия удельная мощность пламени составляет 80...150 л/(ч·мм), а при сварке меди, обладающей высокой теплопроводностью, удельную мощность выбирают в пределах 150...220 л/(ч·мм).

### 3.3. ТЕХНОЛОГИЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Качество сварного соединения в значительной степени зависит от правильного выбора режима и техники выполнения сварки.

При ручной сварке пламя горелки направляют на свариваемые кромки так, чтобы они находились в восстановительной зоне на расстоянии 2...6 мм от конца ядра. Конец присадочной проволоки также держат в восстановительной зоне или в сварочной ванне.

Положение горелки – угол наклона ее мундштука к поверхности свариваемого металла – зависит от толщины соединяемых кромок изделия и теплопроводности металла. Чем толще металл и чем больше его теплопроводность, тем угол наклона мундштука горелки должен быть больше. Это способствует более концентрированному нагреву металла вследствие подведения большего количества теплоты. Углы наклона мундштука горелки в зависимости от толщины металла при сварке низкоуглеродистой стали представлены на рисунке 3.7. В начале сварки для быстрого и лучшего прогрева металла устанавливают наибольший угол наклона, затем в процессе сварки этот угол уменьшают до нормы, а в конце сварки постепенно уменьшают, чтобы лучше заполнить кратер и предупредить пережог металла.



Рис. 3.7. Углы наклона мундштука горелки в зависимости от толщины металла при сварке низкоуглеродистой стали

Различают два основных способа газовой сварки: правый и левый. При правом способе (рис. 3.8, а) процесс сварки ведется слева направо.

Горелка перемещается впереди присадочного прутка, а пламя направлено на формирующийся шов. Этим обеспечивается хорошая защита сварочной ванны от воздействия атмосферного воздуха и замедленное охлаждение сварного шва. Такой способ позволяет получать швы высокого качества. При левом способе (рис. 3.8, б) процесс сварки производится справа налево. Горелка перемещается за присадочным прутком, а пламя направляется на несваренные кромки и подогревает их, подготавливая к сварке. Правый способ применяют при сварке металла толщиной более 5 мм. Пламя горелки при этом способе ограничено с двух сторон кромками изделия, а спереди наплавленным валиком, что значительно уменьшает рассеивание теплоты и повышает степень его использования. Однако при левом способе внешний вид шва лучше, так как сварщик отчетливо видит шов и поэтому может получить равномерную высоту и ширину его. Это особенно важно при сварке тонких листов. Поэтому тонкий металл сваривают левым способом. Кроме того, при левом способе пламя свободно растекается по поверхности металла, что снижает опасность его пережога.

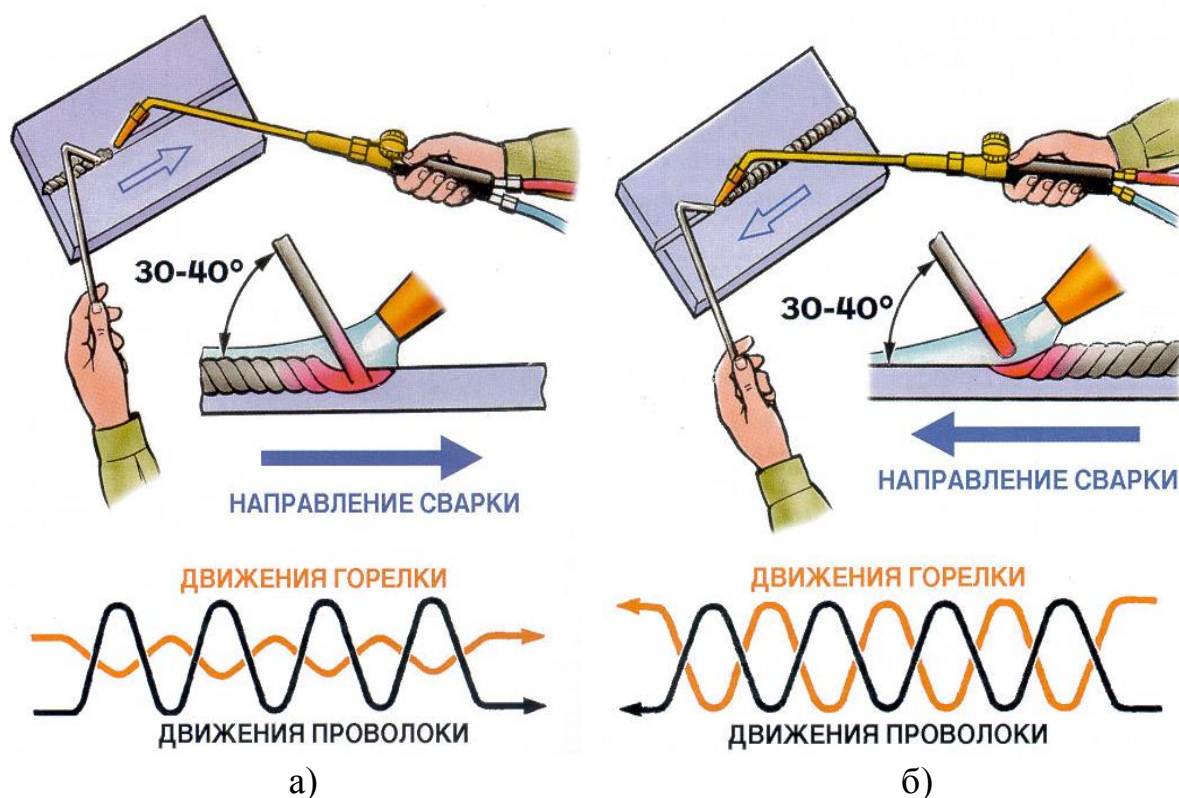


Рис. 3.8. Способы газовой сварки: а – правый; б – левый

Способ сварки зависит также от пространственного положения шва. Нижние швы выполняют как левым, так и правым способом в за-



висимости от толщины металла, как указано выше. Вертикальные швы при толщине металла до 2 мм рекомендуется сваривать правым способом сверху вниз (рис. 3.9. а) и левым или правым способом снизу вверх (рис. 3.9, б, в). При больших толщинах металла сварку следует выполнять способом двойного валика. Горизонтальные швы выполняют правым способом (рис. 3.9, г), пламя горелки направляют на заваренный шов, а присадочный пруток вводят сверху в сварочную ванну, расположенную под некоторым углом к оси шва. Эти меры предупреждают вытекание расплавленного металла. Потолочные швы легче сваривать правым способом (рис. 3.9, д, е), так как в этом случае газовый поток пламени направлен непосредственно на шов и тем самым препятствует вытеканию металла из сварочной ванны.

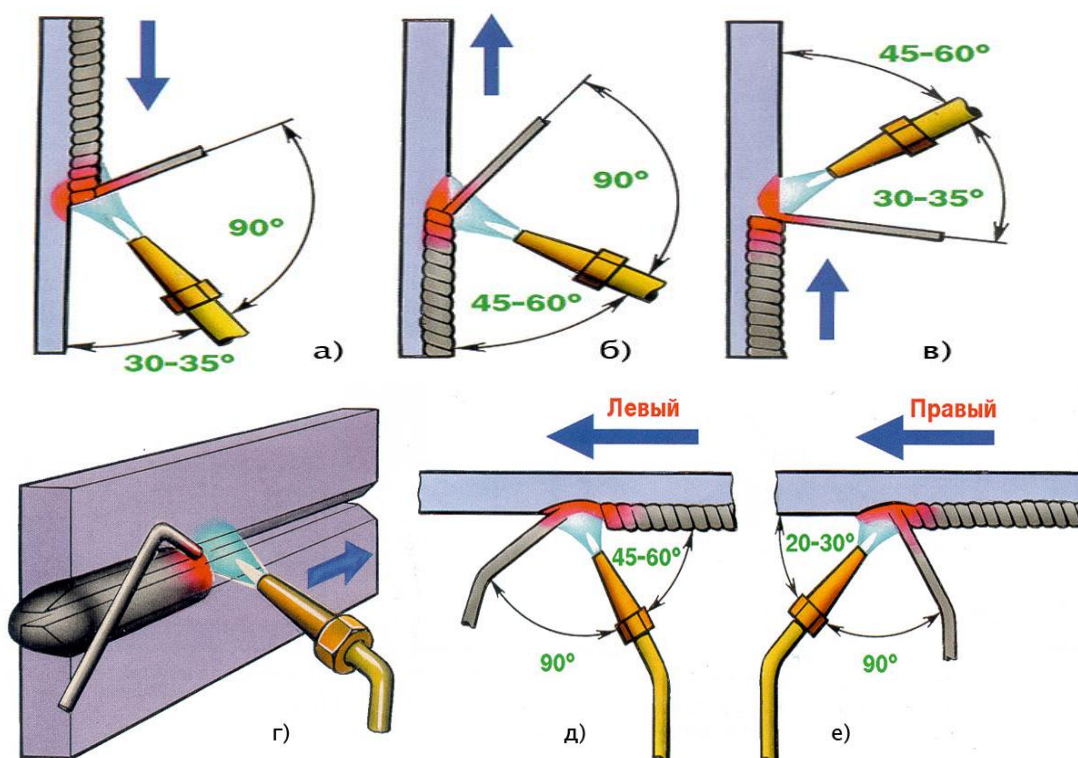


Рис. 3.9. Способы сварки в зависимости от пространственного положения шва: а – вертикальные швы (сверху вниз – правый способ); б, в – вертикальные швы (снизу вверх – левый, правый); г – горизонтальные швы на вертикальной поверхности (правый способ); д, е – потолочные швы (правый, левый способ)

В процессе сварки мундштук горелки и присадочный пруток совершают одновременно два движения: одно – вдоль оси свариваемого шва и второе – колебательные движения поперек оси шва (рис. 3.8). При этом конец присадочного прутка движется в направлении, обрат-

ном движению мундштука.

Для получения сварного шва с высокими механическими свойствами необходимо хорошо подготовить свариваемые кромки, правильно подобрать мощность горелки, отрегулировать сварочное пламя, выбрать присадочный материал, установить положение горелки и направление перемещения ее по свариваемому шву.

Подготовка кромок заключается в очистке их от масла окалины и других загрязнений, разделке под сварку и прихвате короткими швами.

Свариваемые кромки очищают на ширину 20...30 мм с каждой стороны шва. Для этой цели можно использовать пламя сварочной горелки. При нагреве окалина отстает от металла, а краска и масло выгорают. Затем поверхность свариваемых деталей зачищают стальной щеткой до металлического блеска. При необходимости (например, при сварке алюминия) свариваемые кромки травят в кислоте и затем промывают и сушат.

Разделка кромок под сварку зависит от типа сварного соединения, который, в свою очередь, зависит от взаимного расположения свариваемых деталей.

Стыковые соединения являются для газовой сварки наиболее распространенным типом соединений. Металлы толщиной до 2 мм сваривают встык с отбортовкой кромок без присадочного материала или встык без разделки и без зазора, но с присадочным материалом. Металл толщиной 2...5 мм сваривают встык без разделки кромок, но с зазором между ними. При сварке металла толщиной более 5 мм применяют V-образную или X-образную разделку кромок. Угол скоса выбирают в пределах 70...90 °С; при этих углах получается хороший провар вершины шва.

Угловые соединения также часто применяются при сварке металлов малой толщины. Такие соединения сваривают без присадочного металла. Шов выполняется за счет расплавления кромок свариваемых деталей.

Нахлесточные и тавровые соединения допустимы только при сварке металла толщиной менее 3 мм, так как при больших толщинах металла неравномерный местный нагрев вызывает большие внутренние напряжения и деформации и даже трещины в шве и основном металле.

Скос кромок производят ручным или пневматическим зубилом, а также на специальных кромкострогальных или фрезерных станках. Экономичным способом является ручная или механизированная кислородная резка. При этом образующиеся шлаки и окалину удаляют зубилом и металлической щеткой.

Сборка под сварку производится в специальных приспособлениях или на прихватках, обеспечивающих точность положения свариваемых деталей и зазора между кромками в течение всего процесса сварки. Длина прихваток, их число и расстояние между ними зависят от толщины металла, длины и конфигурации свариваемого шва. При сварке тонкого металла и коротких швах длина прихваток составляет 5...7 мм, а расстояние между прихватками около 70...100 мм. При сварке толстого металла и при швах значительной длины прихватки делаются длиной 20...30 мм, а расстояние между ними – 300...500 мм.

Основные параметры режима сварки выбирают в зависимости от свариваемого металла, его толщины и типа изделия. Определяют требуемую мощность и вид пламени, марку и диаметр присадочной проволоки, способ и технику сварки. Швы накладывают однослойные и многослойные. При толщине металла до 6...8 мм применяют однослойные швы, до 10 мм швы выполняют в два слоя, а при толщине металла 10 мм швы сваривают в три слоя и более. Толщина слоя при многослойной сварке зависит от размеров шва, толщины металла и составляет 3...7 мм. Перед наложением очередного слоя поверхность предыдущего слоя должна быть хорошо очищена металлической щеткой. Сварку производят поочередно короткими участками. При этом стыки валиков в слоях не должны совпадать. При многослойной сварке зона нагрева меньше, чем при однослойной. В процессе сварки при наплавке очередного слоя происходит отжиг нижележащих слоев. Кроме того, каждый слой можно подвергнуть проковке. Все эти условия позволяют получить сварной шов высокого качества, что очень важно при сварке ответственных конструкций. Однако следует учесть, что производительность сварки снижается и при этом рекомендуется больше горючего газа.

Низкоуглеродистые стали сваривают газовой сваркой без особых затруднений. Сварка выполняется нормальным пламенем. Присадочным материалом служит проволока сварочная, предусмотренная ГОСТ 2246-70. Ответственные сварные узлы и конструкции из низкоуглеродистой стали выполняют с применением низколегированной проволоки. Наилучшие результаты дают кремнемарганцовистая и марганцовистая проволоки марок Св-08ГА, Св-10Г2, Св-08ГС, Св-08Г2С. Они позволяют получить сварной шов с высокими механическими свойствами.

Среднеуглеродистые стали свариваются удовлетворительно, однако при сварке возможно образование в сварном шве и зоне термического влияния закалочных структур и трещин. Сварку выполняют слегка науглероживающим пламенем, так как даже при небольшом избытке в пламени кислорода происходит существенное выгорание углерода. Ре-



комендуется левый способ сварки, чтобы снизить перегрев металла. При толщине металла более 3 мм следует проводить предварительный общий подогрев детали до 250...300 °С или местный нагрев до 650...700 °С. Присадочным материалом служат марки сварочной проволоки, указанные для малоуглеродистой стали, и проволока марки Св-12ГС.

Диаметр присадочной проволоки  $d$  (мм) при сварке металла толщиной до 15 мм левым способом определяют по формуле

$$d = (s / 2) + 1, \quad (30)$$

где  $s$  – толщина свариваемой стали, мм.

При правом способе диаметр проволоки берут равным половине толщины свариваемого металла. При сварке металла толщиной более 15 мм применяют проволоку диаметром 6...8 мм.

После сварки можно рекомендовать проковку металла шва в горячем состоянии и затем нормализацию с температуры 800...900 °С. При этом металл приобретает достаточную пластичность и мелкозернистую структуру.

### 3.4. ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ КИСЛОРОДНОЙ РЕЗКИ

Кислородная резка основана на свойстве металлов и их сплавов сгорать в струе технически чистого кислорода. Резке поддаются металлы, удовлетворяющие следующим основным требованиям.

1. Температура плавления металла должна быть выше температуры воспламенения его в кислороде. Металл, не отвечающий этому требованию, плавится, а не сгорает.

Например, низкоуглеродистая сталь имеет температуру плавления около 1500 °С, а воспламеняется в кислороде при температуре 1300...1350 °С. Увеличение содержания углерода в стали сопровождается понижением температуры плавления и повышением температуры воспламенения в кислороде. Поэтому резка стали с увеличением содержания углерода и примесей усложняется.

2. Температура плавления оксидов должна быть ниже температуры плавления самого металла, чтобы образующиеся оксиды легко выдувались и не препятствовали дальнейшему окислению и процессу резки.

Например, при резке хромистых сталей образуются оксиды хрома с температурой плавления 2000 °С, а при резке алюминия – оксиды с температурой плавления около 2050 °С. Эти оксиды покрывают поверхность металла и прекращают дальнейший процесс резки.

3. Образующиеся при резке шлаки должны быть достаточно жидкотекучи и легко выдвигаться из разреза. Тугоплавкие и вязкие шлаки будут препятствовать процессу резки.

4. Теплопроводность металла должна быть наименьшей, так как при высокой теплопроводности теплота, сообщаемая металлу, будет интенсивно отводиться от участка резки, и подогреть металл до температуры воспламенения будет трудно.

5. Количество теплоты, выделяющейся при сгорании металла, должно быть возможно большим; эта теплота способствует нагреванию прилегающих участков металла и тем самым обеспечивает непрерывность процесса резки. Например, при резке низкоуглеродистой стали 65...70 % общего количества теплоты выделяется от сгорания металла в струе кислорода и только 30...35 % составляет теплота от подогревающего пламени резака.

Различают два основных вида кислородной резки: разделительную и поверхностную.

*Разделительную резку* (рис. 3.10, а) применяют для вырезки различного вида заготовок, раскроя листового металла, разделки кромок под сварку и других работ, связанных с разрезкой металла на части.

Сущность процесса заключается в том, что металл вдоль линии разреза нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, он сгорает в струе кислорода, а образующиеся оксиды выдуваются этой струей из места разреза.

*Поверхностную резку* применяют для снятия поверхностного слоя металла, разделки каналов (рис. 3.10, б), удаления поверхностных дефектов и других работ. Резаки имеют большую длину и увеличенные сечения каналов для газов подогревающего пламени и режущего кислорода.

Применяют два вида поверхностной резки – строжку и обточку. При строжке резак совершает возвратно-поступательное движение как строгальный резец. При обточке резак работает как токарный резец. Наклон мундштука резака к поверхности металла в начале реза составляет 70...80°. После начала горения угол наклона плавно уменьшают до 15...20°. Уменьшение угла наклона увеличивает ширину и уменьшает глубину строжки.

*Резаки* при кислородной резке служат для правильного смешения горючих газов или паров жидкости с кислородом, образования подогревающего пламени и подачи в зону резки струи чистого кислорода. Резаки классифицируют *по назначению* (универсальные и специальные); *по принципу смешения газов* (инжекторные и безынжекторные); *по виду резки* (разделительной и поверхностной резки); *по применению* (для ручной и машинной резки) Большее применение получили универсальные инжекторные ручные резаки для разделительной резки. Они отличаются от сварочных горелок наличием отдельной трубки для подачи

режущего кислорода и особым устройством головки, состоящей из двух сменных мундштуков (наружного – для подогревающего пламени; внутреннего – для струи чистого кислорода).

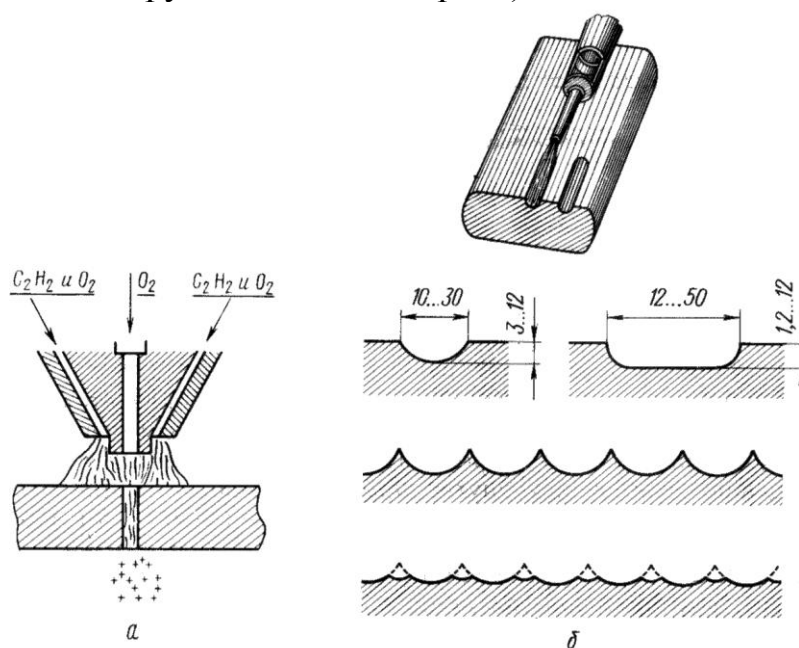


Рис. 3.10. Основные виды кислородной резки: а – разделительная; б – поверхностная

Ацетилено-кислородный инжекторный резак (рис. 3.11) состоит из двух основных частей – ствола и наконечника. Ствол состоит из рукоятки 7 с ниппелями 5 и 6 для присоединения кислородного и ацетиленового рукавов, корпуса 8 с регулировочными кислородным 4 и ацетиленовым 9 вентилями, инжектора 10, смесительной камеры 12, трубки 13, головки резака 1 с внутренним мундштуком 14 и наружным 15, трубки режущего кислорода 2 с вентилем 3. Ствол присоединяется к корпусу 8 накидной гайкой 11.

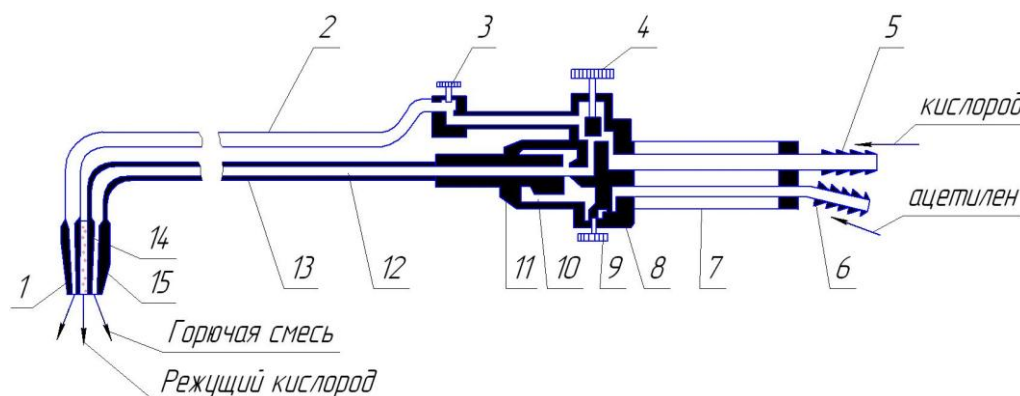


Рис. 3.11. Принципиальная схема ацетилено-кислородного инжекторного резака

Кислород из баллона поступает в резак через ниппель 5 и в корпусе разветвляется по двум каналам. Часть газа, проходя через вентиль 4, направляется в инжектор 10. Выходя из инжектора с большой скоростью, струя кислорода создает разрежение и подсасывает ацетилен, образующий с кислородом в камере 12 горючую смесь, которая проходя через зазор между наружными и внутренними мундштуками, сгорает, образуя подогревающее пламя. Другая часть кислорода через вентиль 3 поступает в трубку 2 и, выходя через центральный канал внутреннего мундштука 14, образует струю режущего кислорода.

Большое применение получил ручной универсальный резак «факел». Он имеет пять внутренних и два наружных мундштука, позволяющие резать металл толщиной до 300 мм со скоростью 80...560 мм/мин (в зависимости от металла и его толщины). Для работы на газах-заменителях ацетилена используются, резаки типа РЗР. Они отличаются большими размерами сечений инжекторов и мундштуков.

Для машинной резки применяют стационарные шарнирные машины АСШ-2 и АСШ-70. Вторая машина отличается более совершенным приводом и наличием пантографического устройства, позволяющего производить вырезку одновременно трех деталей. Толщина разрезаемого металла 5...100 мм. Усовершенствованные машины типа АСШ-74 производят резку листовой стали толщиной до 150 мм со скоростью 0,1...1,6 м/мин. Переносные машины представляют собой самоходные тележки, оснащенные резаком и перемещающиеся по разрезаемому металлу. Приводом служит электродвигатель, пружинный механизм или газовая турбина. Например, машина «Микрон-2» предназначена для механизированной кислородной резки листовой низкоуглеродистой стали толщиной до 100 мм со скоростью до 4 м/мин.

*Технология кислородной резки.* Поверхность разрезаемого металла должна быть хорошо очищена от грязи, краски, окалины и ржавчины. Для удаления окалины, краски и масла следует медленно провести пламенем горелки или резака по поверхности металла вдоль намеченной линии разреза. При этом краска и масло выгорают, а окалина отстает от металла. Затем поверхность металла окончательно зачищают металлической щеткой.

Процесс резки начинают с нагревания металла. Подогревающее пламя резака направляют на край разрезаемого металла и нагревают до температуры воспламенения его в кислороде, практически составляющая температуру плавления. Затем пускают струю режущего кислорода и перемещают резак вдоль линии разреза. Кислород сжигает верхние нагретые слои металла. Теплота, выделяющаяся при сгорании, нагревает нижележащие слои металла до температуры воспламенения и под-

держивает непрерывность процесса резки.

При резке листового материала толщиной до 20...30 мм мундштук резака устанавливают вначале под углом 0...5° к поверхности, а затем – под углом 20...30° в сторону, обратную движению резака. Это ускоряет процесс разогрева металла и повышает производительность процесса резки.

Резку металла большой толщины выполняют следующим образом. Мундштук резака вначале устанавливают перпендикулярно поверхности разрезаемого металла так, чтобы струя подогревающего пламени, а затем и режущего кислорода располагалась вдоль вертикальной грани разрезаемого металла. После прогрева металла до температуры воспламенения пускают струю режущего кислорода. Перемещение резака вдоль линии резания начинают после того, как в начале этой линии металл будет прорезан на всю его толщину. Чтобы не допустить отставания резки в нижних слоях металла, в конце процесса следует постепенно замедлить скорость перемещения резака и увеличивать наклон мундштука резака до 10...15° в сторону, обратную его движению. Рекомендуется начинать процесс резки с нижней кромки. Предварительный подогрев до 300...400 °С позволяет производить резку с повышенной скоростью. Скорость перемещения резака должна соответствовать скорости горения металла. Если скорость перемещения резака установлена правильно (1...6), то поток искр и шлака вылетает из разреза прямо вниз, а кромки получаются чистыми, без натеков и подплавлений. При большой скорости перемещения резака поток искр отстает от него, металл в нижней кромке не успевает сгореть, и сквозное прорезание прекращается. При малой скорости сноп искр опережает резак, кромки разреза оплавляются и покрываются натеками.

Давление режущего кислорода устанавливают в зависимости от толщины разрезаемого металла и чистоты кислорода. Чем выше чистота кислорода, тем меньше давление и расход кислорода (табл. 3.3).

Таблица 3.3

*Зависимость давления кислорода от толщины металла  
при ручной резке*

Толщина металла, мм	5...20	20...40	40...60	60...100	100...200
Давление кислорода Р, МПа	0,3...0,4	0,4...0,5	0,5...0,6	0,7...0,9	1,0...1,1

Ширина и чистота разреза зависят от способа резки и толщины разрезаемого металла. Машинная резка дает более чистые кромки и меньшую ширину разреза, чем ручная резка. Чем больше толщина ме-

талла, тем больше ширина разреза. Это видно из следующих данных (табл. 3.4).

Таблица 3.4

*Зависимость толщины металла от ширины реза*

Толщина металла, мм	5...50	50...100	100...200	200...300
Ширина разреза, мм:				
при ручной резке	3...5	5...6	6...8	8...10
при машинной резке	2,5...4,0	4,0...5,0	5,0...6,5	6,5...8,0

Процесс резки вызывает изменение структуры, химического состава и механических свойств металла. При резке низкоуглеродистой стали тепловое влияние процесса на ее структуру незначительно. Наряду с участками перлита появляется неравновесная составляющая сорбита, что даже несколько улучшает механические качества металла. При резке стали, имеющей повышенное содержание углерода и легирующие примеси, кроме сорбита образуются тростит и даже мартенсит. При этом сильно повышается твердость и хрупкость стали и ухудшается обрабатываемость кромок разреза. Возможно образование холодных трещин. Изменение химического состава стали проявляется в образовании обезуглероженного слоя металла непосредственно на поверхности резания. Это происходит в результате выгорания углерода под воздействием струи режущего кислорода. Несколько глубже находится участок с большим содержанием углерода, чем у исходного металла. Затем по мере удаления от разреза содержание углерода уменьшается до исходного. Также происходит выгорание легирующих элементов стали.

Механические свойства низкоуглеродистой стали при резке почти не изменяются. Стали с повышенным содержанием углерода, марганца, хрома и молибдена закаляются, становятся более твердыми и дают трещины в зоне резания.

Нержавеющие хромистые и хромоникелевые стали, чугун, цветные металлы и их сплавы не поддаются обычной кислородной резке, так как не удовлетворяют указанным выше условиям.

Для этих металлов применяют *кислородно-флюсовую резку*, сущность которой заключается в следующем. В зону резания с помощью специальной аппаратуры непрерывно подается порошкообразный флюс, при сгорании которого выделяется дополнительная теплота, и повышается температура места разреза. Кроме того, продукты сгорания флюса реагируют с тугоплавкими оксидами и дают жидкотекучие шлаки, легко вытекающие из места разреза.

В качестве флюса используется мелкогранулированный железный

порошок марки ПЖ-5М. При резке хромистых и хромоникелевых сталей во флюс добавляют 25...50 % окалины; при резке чугуна добавляют около 30...35 % доменного феррофосфора; при резке меди и ее сплавов применяют флюс, состоящий из смеси железного порошка с алюминиевым порошком (15...20 %) и феррофосфором (10...15 %).

Резку производят установкой типа УРХС-5, разработанной ВНИИ-автогенмаш и состоящей из флюсопитателя и резака. Установка используется для ручной и машинной кислородно-флюсовой резки высоколегированных хромистых и хромоникелевых марок сталей толщиной 10...200 мм при скорости резания 230...760 мм/мин. На 1 м разреза расходуется кислорода 0,20...2,75 м<sup>3</sup>; ацетилена – 0,017...0,130 м<sup>3</sup> и флюса – 0,20...1,3 кг.

При кислородно-флюсовой резке некоторая часть теплоты подогревающего пламени уходит на нагревание флюса. Поэтому мощность пламени берется на 15...25 % выше, чем при обычной резке. Пламя должно быть нормальным или с некоторым избытком ацетилена. Расстояние от торца мундштука резака до поверхности разрезаемого металла устанавливается в пределах 15...20 мм. При малом расстоянии частицы флюса отражаются от поверхности металла и, попадая в сопло резака, вызывают хлопки и обратные удары. Кроме того, наблюдается перегрев мундштука, приводящий к нарушению процесса резки. Угол наклона мундштука резака должен быть в пределах 0...10° в сторону, обратную направлению резки. Хорошие результаты дает предварительный подогрев. Хромистые и хромоникелевые стали требуют подогрева до 300...400 °С, а сплавы меди – до 200...350 °С.

Скорость резки зависит от свойств металла и от его толщины. Чугун толщиной 50 мм режут со скоростью 70...100 мм/мин. При этом на 1 м разреза расходуется 2...4 м<sup>3</sup> кислорода, 0,16...0,25 м<sup>3</sup> ацетилена и 3,5...6 кг флюса. Примерно такие же данные получают при резке сплавов меди. При резке хромистых и хромоникелевых сталей расход всех материалов снижается почти в 3 раза.

## 4. СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ

Сущность получения неразъемного сварного соединения двух металлических заготовок в твердом состоянии состоит в сближении идеально чистых соединяемых поверхностей на расстояние  $(2-4) \cdot 10^{-8}$  см, при котором возникают межатомные силы притяжения. При достижении такого расстояния возможно образование металлических связей, т.е. появление общих электронов двух соединяемых поверхностей и их взаимодействие с положительно заряженными ионами кристаллических решеток.

Строение и состояние реальной поверхности соединяемых заготовок характеризуется наличием большого числа дефектов, неровностей и загрязнений. Поверхность любого, даже тщательно отполированного, твердого тела всегда волниста, шероховата и имеет множество микроскопических выступов, высота которых на несколько порядков выше, чем расстояния, необходимые для возникновения сил межатомного взаимодействия.

Вследствие наличия неровностей и выступов, площадь действительной поверхности металла во много раз превышает площадь поверхности, измеренную обычными методами. Наружную поверхность металла характеризуют наличие некомпенсированных металлических связей и большое число дефектов кристаллического строения, что способствует ее активному взаимодействию с внешней средой и приводит к быстрому окислению и осаждению на поверхности жидкости и газов. Практически после любой обработки поверхность мгновенно покрывается тонкой пленкой оксидов, а также слоем адсорбированных молекул воды и жировых веществ. Толщина этого слоя составляет 100–200 молекул, и удалить его полностью не удастся, так как этому препятствует возникшая между слоем и поверхностью электрическая связь. Следовательно, даже если создать идеально плоские соединяемые поверхности, при их сближении соединение не может возникнуть из-за наличия слоя оксидов и масляных пленок, адсорбированных примесями.

Получить прочное неразъемное соединение двух поверхностей в твердом состоянии можно, если удалить загрязняющие пленки и осуществить затем плотный контакт по всей соединяемой плоскости. Практически при сварке в твердом состоянии этого достигают путем приложения к свариваемым заготовкам давления, которое должно быть достаточным для смятия всех неровностей в соединяемом сечении. В начальный момент сближения в точках касания разрушается слой осажденных



на поверхности примесей, и появляются «островки» металлических соединений. При возрастании давления увеличивается площадь контактирования поверхностей, сближающихся до расстояния, при котором начинают действовать межатомные силы притяжения. Вследствие большой плотности контакта, соединяемые поверхности не сообщаются с атмосферой, поэтому новых оксидных и жировых пленок не образуется, а имевшиеся до этого частично выдавливаются из зоны соединения наружу, частично диффундируют в глубь металла и не препятствуют образованию металлических связей. Таким образом, необходимым условием получения качественного соединения в твердом состоянии является наличие сдвиговых деформаций в зоне соединения.

Описанный способ может быть применен для заготовок из металлов и сплавов, имеющих относительно небольшое сопротивление пластическому деформированию и достаточно пластичных в холодном состоянии (Pb, Sn, Zn, Al, Cu). Для заготовок из малопластичных и обладающих высоким пределом текучести металлов приложение давления в холодном состоянии не позволяет получить необходимую степень течения металла вследствие быстрого наклепа. Для высокопрочных материалов можно увеличить пластические свойства и снизить сопротивление деформированию, предварительно подогревая соединяемые поверхности и прилегающие к ним зоны. Благодаря этому удастся при относительно небольших силах сжатия удалить загрязняющий слой и активизировать образование металлических связей.

Сварку в твердом состоянии с приложением давления называют **сваркой давлением**. Существуют множество разновидностей сварки давлением, которые различаются источником нагревания либо видом энергии, применяемым для активизации процесса.

#### 4.1. КОНТАКТНАЯ СВАРКА

*Контактная сварка* – сварка с применением давления, при которой нагрев производится теплотой, выделяемой при прохождении электрического тока через находящиеся в контакте соединяемые части. Контактная сварка – основной вид сварки давлением термомеханического класса.

Основным признаком всех видов сварки давлением (контактная, диффузионная, холодная, трением и др.) является пластическая деформация металла в зоне контакта соединяемых деталей, необходимая для образования сварных соединений. При сварке происходит принудительное образование межатомных связей между кристаллическими решетками соединяемых деталей. Выделяют три основные стадии процес-

са образования сварного соединения при сварке давлением: формирование физического контакта, образование химических связей, развитие последующих процессов на границе полученного соединения и в объеме деталей.

На первой стадии обеспечивается сближение атомных поверхностей. Устраняются неровности и поверхностные пленки, формируется физический контакт, т. е. такой контакт тел, при котором атомы находятся на расстоянии, достаточном для начала межатомного взаимодействия.

На второй стадии происходит объединение электронных оболочек, возникают химические (для металлов – металлические) связи, и образуется сварное соединение.

На третьей стадии через границу соединения начинается взаимная диффузия атомов, развиваются различные сопутствующие сварке процессы, связанные с деформированием металла, его нагревом, со структурными изменениями в зоне соединения и прилегающих участках.

Основными параметрами технологического процесса при сварке давлением являются величина давления (деформация), температура нагрева, время сварки, а также величина и скорость взаимного перемещения свариваемых деталей и среда (состав газовой фазы), в которой происходит сварка.

Место соединения при контактной сварке разогревается проходящим по металлу электрическим током. Количество выделяемой теплоты  $Q$  (Дж) определяется законом Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t, \quad (31)$$

где  $I$  – сварочный ток, А;  $R$  – полное сопротивление между электродами сварочной машины, Ом;  $t$  – время протекания тока, с.

Контактная сварка осуществляется без расплавления и с расплавлением металла. В первом случае соединение происходит при деформации металла с созданием физического контакта между частицами соединяемых поверхностей и последующим образованием общей структуры за счет термопластической деформации, во втором случае возможно перемешивание расплава в замкнутом объеме (точечная сварка) и частичное его вытеснение (стыковая сварка оплавлением) с последующей кристаллизацией расплава и пластической деформацией закристаллизовавшегося металла.

Большие скорости нагрева, пластической деформации и охлаждения существенно влияют на структуру металла и свойства сварного соединения: повышается твердость и прочность. Соединения с высокой твердостью и неблагоприятной структурой, не удовлетворяющие после сварки эксплуатационным

требованиям, подвергаются термообработке. Местная термообработка участка сварки может осуществляться непосредственно в сварочной машине.

Благодаря высокой производительности, надежности соединений, высокому уровню механизации и автоматизации контактная сварка находит широкое применение в промышленности. Считается, что около 30% всех сварных соединений получают с помощью контактной сварки.

В зависимости от профиля свариваемых материалов (лист, профильный прокат, труба), типа сварного соединения, толщины и марки металла применяют различные виды контактной сварки.

Основными видами контактной сварки являются стыковая, точечная и шовная.

#### **4.1.1. СТЫКОВАЯ СВАРКА**

*Стыковая контактная сварка* – вид контактной сварки, при которой соединение свариваемых частей происходит по поверхности стыкуемых торцов (рис. 4.1). Стыковой сваркой соединяют проволоку, стержни, трубы, полосы, рельсы, цепи и другие детали.

При стыковой сварке свариваемые заготовки 2 закрепляют в зажимах 3 стыковой машины. Один из зажимов – подвижный, другой – неподвижный. Питание электрическим током осуществляется от сварочного трансформатора через контактные губки (электроды) 1, вторичная обмотка которого соединена с плитами гибкими шинами, а первичная питается от сети переменного тока через включающее устройство. С помощью механизма осадки подвижная плита перемещается, свариваемые детали сжимаются под усилием  $P$ .

Различают стыковую сварку сопротивлением и оплавлением. *Сваркой сопротивлением* называется стыковая сварка с разогревом стыка до пластического состояния и последующей осадкой. *Сваркой оплавлением* называется стыковая сварка с разогревом стыка до оплавления и последующей осадкой. Различают сварку непрерывным и прерывистым (импульсным) оплавлением, а также оплавлением с подогревом.

Параметрами режима контактной сварки являются ток  $I$ , А, и его плотность  $j$ , А/мм<sup>2</sup>, усилие сжатия свариваемых деталей  $P$ , Па, время протекания тока  $t$ , с, установочная длина  $l$ , мм. Установочной длиной называют расстояние от торца заготовки до внутреннего края электрода стыковой машины, измеренное до начала сварки.

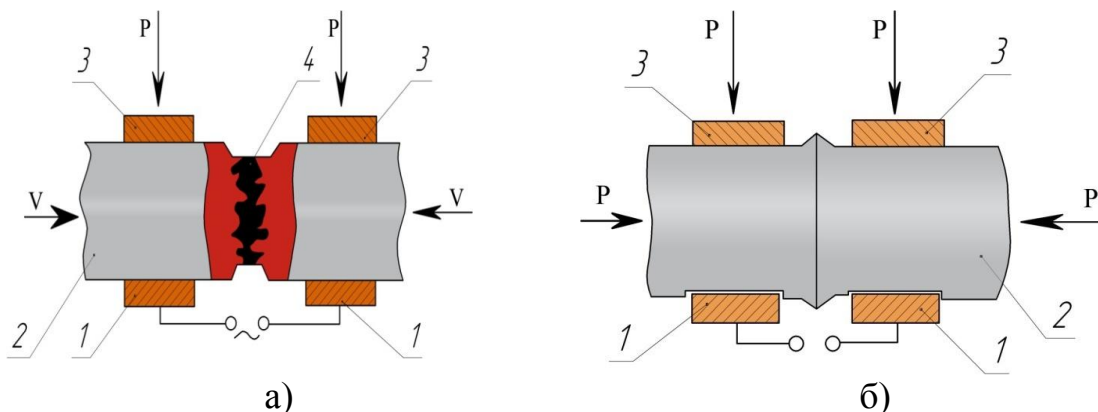


Рис. 4.1. Схема стыковой сварки оплавлением: а – процесс сварки; б – после сварки; 1 – контактные губки; 2 – свариваемые детали; 3 – зажимные губки; 4 – мосты жидкого металла в контакте; 5 – грат

Для правильного формирования сварного соединения и высоких механических свойств соединения необходимо, чтобы процесс протекал в определенной последовательности. Совместное графическое изображение изменения параметров при сварке называется циклограммой сварки. Цикл контактной стыковой сварки представлен на рис. 4.2.

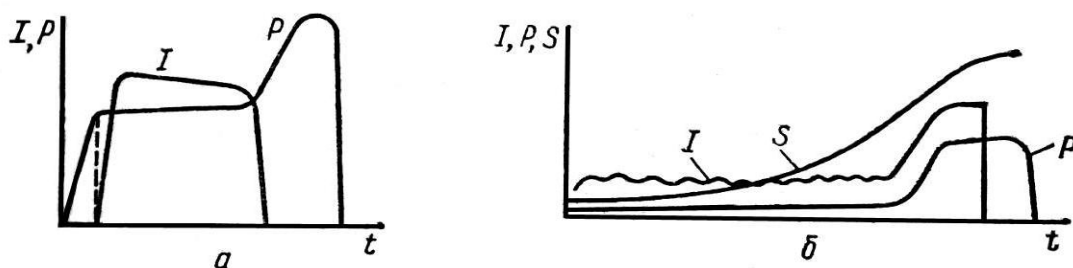


Рис. 4.2. Циклограммы контактной стыковой сварки: а – сопротивлением, б – оплавлением; I – сварочный ток, P – усилие сжатия, S – перемещение подвижной плиты, t – время

Подготовка деталей под стыковую сварку включает придание определенной формы контактным поверхностям деталей, правку, обработку концов и очистку контактных участков.

Равномерный подогрев деталей без тщательной их подготовки или импульсного включения тока при сварке сопротивлением затруднен. Поэтому торцы делают с выступами (кольцевыми, конусными, сферическими), наличие которых локализует нагрев, облегчает сварку сопротивлением и удаление окислов. Оплавлением хорошо свариваются специально подготовленные детали с параллельными торцами. Для сварки оплавлением пригодны детали после механической или термической резки с очисткой поверхностей от заусенцев и шлака. Перекос контактных поверхностей должен быть не более 15 % от допуска на оплавление.

ние. Окалину удаляют металлической дробью, травлением, нагревом газовым пламенем, резанием. Мелкие детали очищают в галтовочных барабанах. Зачистка в ряде производств автоматизирована. Ржавчину также удаляют, так как она разлагается в зоне нагрева, повышает окислительную способность среды и приводит к дефектам сварки.

При сварке сопротивлением чисто обработанные поверхности свариваемых деталей приводят в соприкосновение, плотно сжимают, затем включают сварочный ток. Протекание тока через детали приводит к постепенному нагреву металла в стыке до температуры, близкой к температуре плавления. Затем увеличивают усилие (осаживают детали). При этом происходит пластическая деформация металла в стыке и образование соединения в твердом состоянии. При сварке сопротивлением не обеспечивается достаточно полное удаление окисных пленок, трудно добиться равномерного нагрева деталей по всему сечению, поэтому сварка сопротивлением используется ограниченно для изделий относительно небольшого сечения (до 200–250 мм<sup>2</sup>).

Наиболее широко применяют стыковую сварку оплавлением при создании разнообразных конструкций как малых, так и больших сечений (до 100 000 мм<sup>2</sup> и более). Типичными изделиями, свариваемыми стыковой сваркой, являются элементы трубчатых конструкций, колеса, кольца, рельсы, железобетонная арматура и др.

Непрерывным оплавлением сваривают детали компактного сечения до 1000 мм<sup>2</sup>, а также листы и трубы до 10 000 мм<sup>2</sup>. При программировании напряжения и использовании регуляторов возможна сварка деталей компактного сечения до 20 000 мм<sup>2</sup>. Подогрев, снижая требуемую мощность, позволяет сваривать изделия большей площади. Импульсным оплавлением сваривают детали компактного сечения площадью до 400 000 мм<sup>2</sup> и более.

При сварке непрерывным оплавлением детали сближают при включенном сварочном токе и очень малом усилии. Детали соприкасаются вначале по отдельным небольшим площадкам, через которые проходит ток высокой плотности, вызывающий оплавление деталей в результате непрерывного образования и разрушения контактов-перемычек между их торцами. В результате оплавления на торце образуется слой жидкого металла, который при осадке вместе с загрязнениями и окисными пленками выдавливается из стыка. Соединение образуется в твердом состоянии.

При прерывистом оплавлении зажатые заготовки сближают под током с медленно нарастающей скоростью при возвратно-поступательном движении.

Режим стыковой сварки оплавлением определяется установочной длиной свариваемых деталей, припусками на оплавление и осадку, ско-

ростями оплавления и осадки, токами оплавления и осадки (или напряжением на сварочном контуре), длительностью осадки под током и усилием зажатия. Подогрев задают температурой или длительностью и количеством импульсов и пауз.

Используют две разновидности процесса: при ограниченной мощности и большом времени оплавления или при ограниченном времени оплавления и большой мощности. В первом случае сваривают детали компактного сечения, толстостенные трубы и профили, а во втором – полосы, трубы малого диаметра, стержни и другие детали массового производства. Точный расчет параметров режима сварки затруднен. Поэтому параметры выбирают по опытным данным с последующей проверкой качества соединения.

Для защиты металла от взаимодействия с газами при стыковой сварке химически активных металлов используют защитные среды (инертные газы).

Серьезной проблемой стыковой сварки является необходимость удаления грата – металла, выдавленного осадкой. Грат зачищают вручную или механическими устройствами – гратоснимателями – сразу после сварки, после охлаждения соединения или после термообработки.

#### 4.1.2. ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА

*Точечная контактная сварка* – контактная сварка, при которой соединение элементов происходит на участках, ограниченных площадью нагрева электродов, проводящих ток и передающих усилие сжатия (рис. 4.3).

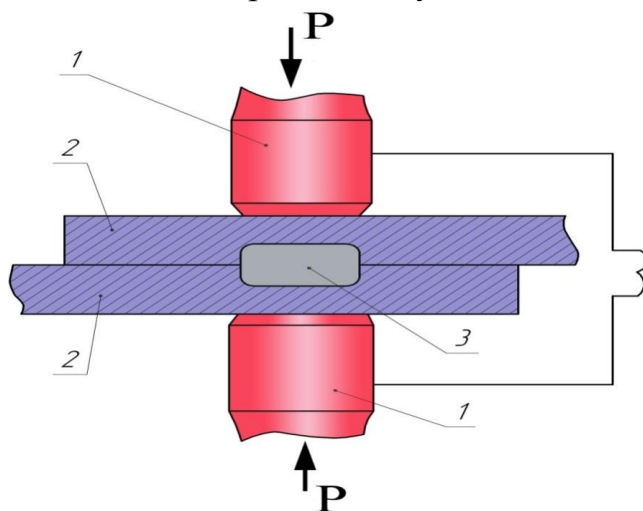
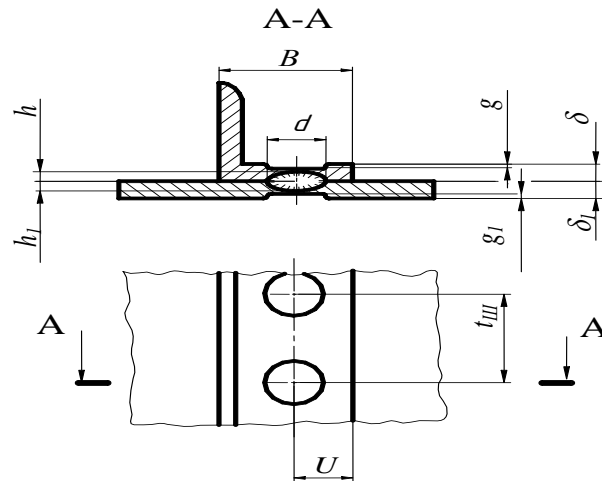


Рис. 4.3. Схема точечной контактной сварки

Конструктивные элементы сварных соединений, выполненные точечной сваркой, представлены на рисунке 4.4.



*Рис. 4.4. Конструктивные элементы соединений при точечной сварке:  
 $d$  – диаметр ядра;  $h$  ( $h_1$ ) – величина проплавления;  $g$  ( $g_1$ ) – глубина вмятины от электрода;  $t_{ш}$  – шаг между точками;  $B$  – расстояние между центрами точек,  
 $U$  – величина нахлестки*

Точечной контактной сваркой обычно соединяют листовые конструкции из однородных и разнородных черных и цветных металлов одинаковой и разной толщины или листы с катаными, прессованными, коваными и обработанными резанием деталями. Точечную сварку используют при изготовлении деталей автомобилей и тракторов, узлов сельскохозяйственных машин, холодильников, железнодорожных вагонов, деталей микроэлектроники, предметов домашнего обихода и др.

По количеству одновременно свариваемых точек точечная сварка может быть одно-, двух- и многоточечной. При точечной сварке детали собирают внахлестку, зажимают между электродами, связанными со сварочным трансформатором, при включении которого детали нагреваются кратковременным (0,01–0,5 с) импульсом тока до появления расплавленной зоны в месте контакта деталей или ядра точки. Усилие после выключения тока сохраняется некоторое время для того, чтобы кристаллизация расплавленного металла точки проходила под давлением, что предотвращает усадочные дефекты – трещины и рыхлоты. Точечная сварка в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым деталям может быть двусторонней и односторонней.

Подготовка деталей к сварке имеет большое значение для обеспечения стабильности процесса сварки и получения качественных соединений. Детали перед сваркой зачищают, правят, подгоняют и собирают в приспособлении или прихватывают.

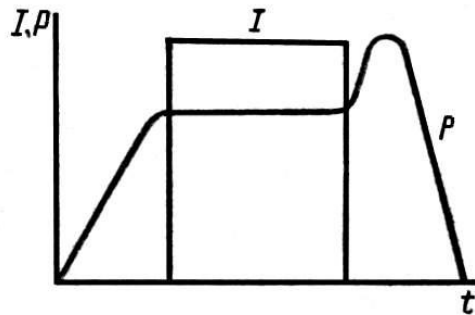


Рис. 4.5. Циклограмма точечной сварки:  $I$  – сварочный ток,  $P$  – усилие сжатия,  $t$  – время

Параметрами режима точечной сварки являются: усилие сжатия, плотность тока и время протекания тока. Одна из циклограмм точечной сварки показана на рисунке 4.5.

Весь цикл сварки состоит из следующих стадий:

- сжатия свариваемых деталей между электродами;
- включения тока и разогрева места контакта до температуры плавления с образованием литого ядра точки;
- включения тока и увеличения усилия сжатия для улучшения структуры сварной точки;
- снятия усилия с электродов.

Параметры режима выбирают с учетом имеющегося оборудования по технологической карте, таблицам ориентировочных режимов, номограммам или выполняют опытные работы.

Точечную сварку проводят на мягких и жестких режимах. Мягкий режим характеризуется относительно малой плотностью тока (70–160 А/мм<sup>2</sup>), большой длительностью цикла (0,5–3 с) при сравнительно малом давлении (15–40 МПа). Жесткий режим характеризуется большими плотностями тока (160–400 А/мм<sup>2</sup>), большими давлениями (до 150 МПа) и малой длительностью цикла сварки (0,1–1,5 с). Мягкие режимы применяют преимущественно при сварке углеродистых и низколегированных сталей, жесткие – коррозионностойких сталей, алюминиевых и медных сплавов.

Ориентировочные значения мягких и жестких режимов сварки низкоуглеродистой стали составляют: плотность тока  $j=80\div160$  и  $200\div400$  А/мм<sup>2</sup>, усилие сжатия  $P_c=(100\div200)\delta$ , где  $\delta$  – толщина свариваемых листов, диаметр электрода  $d_э=2\delta+2,5$  мм.

При точечной сварке деталей разной толщины образующееся несимметричное ядро смещается в сторону более толстой детали и при большом различии в толщине не захватывает тонкой детали. Смещение усиливается на мягких режимах, а на жестких усиливается опасность внутренних и наруж-



ных выплесков. Поэтому применяют различные технологические приемы, обеспечивающие смещение ядра к стыкуемым поверхностям, усиливают нагрев тонкого листа за счет накладок, создают рельеф на тонком листе, применяют более массивные электроды со стороны толстой детали и др.

Разноименные материалы сваривают на мягких режимах, что облегчает получение качественного соединения за счет регулирования параметров режима. Для более симметричного расположения ядра усиливают нагрев и уменьшают теплоотвод в теплопроводный материал за счет уменьшения диаметра и теплопроводности электродов.

Разновидностью точечной сварки является *рельефная сварка* (рис. 4.6), когда первоначальный контакт деталей происходит по заранее подготовленным выступам (рельефам). При рельефной сварке заготовки 2 зажимают между плоскими электродами 1. В начальный период сварки наличие рельефа 3 дает возможность обеспечить концентрированный нагрев в месте контакта при больших плотностях тока. В дальнейшем рельефы постепенно деформируются, и на определенной стадии происходит плавление и образование ядра точки 4.

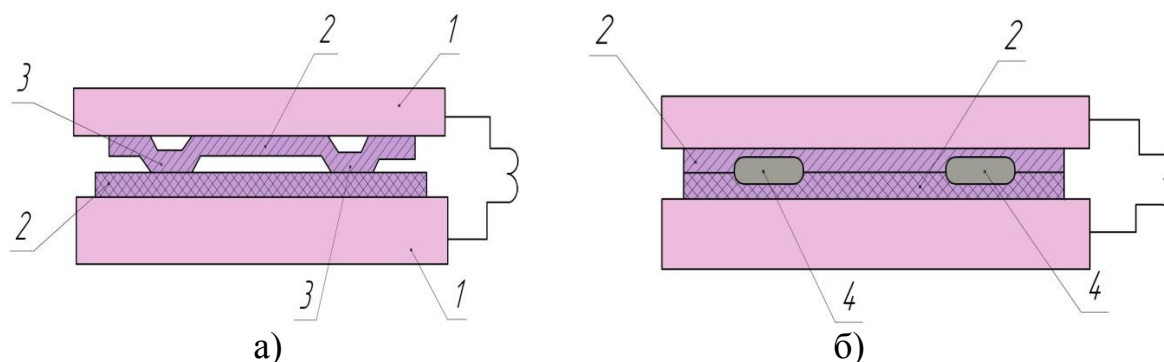


Рис. 4.6. Схема рельефной сварки: а – до сварки; б – после сварки;  
1 – плоские электроды; 2 – свариваемые изделия; 3 – рельеф; 4 – ядро сварной точки

### 4.1.3. ШОВНАЯ СВАРКА

*Шовная контактная сварка* – контактная сварка, при которой соединение элементов выполняется внахлестку вращающимися дисковыми электродами в виде непрерывного или прерывистого шва. При шовой сварке образование непрерывного соединения (шва) происходит последовательным перекрытием точек друг за другом. При шовой сварке электроды выполняют в виде вращающихся дисковых роликов 1, с помощью которых происходит передача усилия деталям, подвод тока и перемещение деталей 2 (рис. 4.7). Как и при точечной сварке, детали обычно собирают внахлестку и нагревают током без применения специальных средств защиты нагреваемого металла от взаимодействия с ат-

мосферой. Шовную сварку так же, как и точечную, можно выполнять при одностороннем и двустороннем положении электродов (роликов).

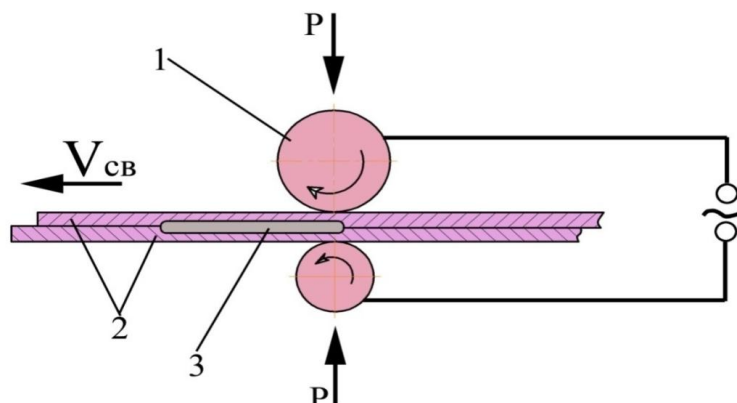


Рис. 4.7. Сущность процесса шовной сварки: 1 – сварочные электроды (ролики); 2 – свариваемые изделия; 3 – сварной шов

Шовную сварку применяют в массовом производстве при изготовлении емкостных изделий с толщиной стенки 0,3–3 мм, где требуются герметичные швы – бензобаки, трубы, бочки, сильфоны и др.

На практике применяют следующие способы шовной сварки (рис. 4.8): непрерывную, прерывистую с непрерывным вращением роликов, прерывистую с периодическим вращением роликов.

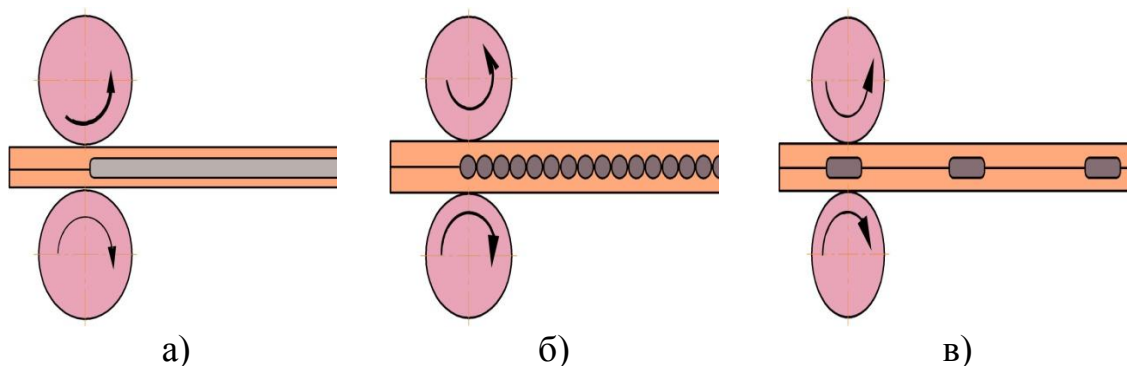


Рис. 4.8. способы шовной сварки: а – непрерывная; б – прерывистую с непрерывным вращением роликов; в – прерывистую с периодическим вращением роликов

Непрерывную шовную сварку (рис. 4.8, а) выполняют сплошным швом при постоянном давлении роликов на свариваемые детали и постоянно включенном сварочном токе в течение всего процесса сварки. Недостатками способа являются повышенные требования к подготовке поверхности, однородности, толщине и химическому составу металла свариваемых деталей.

Прерывистую сварку с непрерывным вращением роликов (рис. 4.8, б)

также выполняют при постоянном давлении сжатия, а сварочный ток подают периодически, при этом шов формируется в виде сварных точек, перекрывающих друг друга. Шов получается более высокого качества.

При прерывистой сварке с периодическим вращением роликов (рис. 4.8, в) сварочная цепь замыкается в момент остановки роликов (шаговая сварка). Такой способ обеспечивает наиболее качественный шов, так как формирование сварной точки происходит под сжимающим давлением. Однако машины для такого способа сварки отличаются большей сложностью и меньшей производительностью.

Циклограммы шовной сварки с непрерывным и прерывистым включением тока показаны на рисунке 4.9.

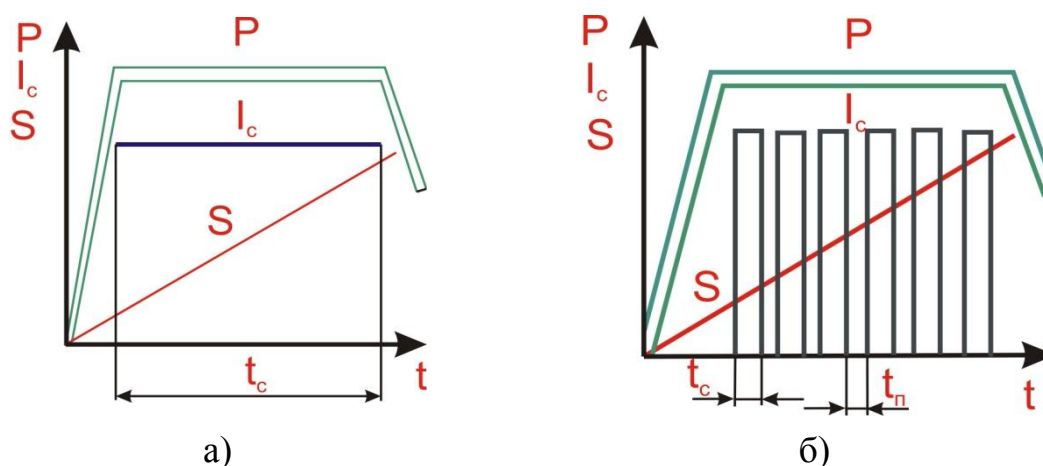


Рис. 4.9. Циклограммы шовной сварки с непрерывным (а) и прерывистым включением тока (б):  $I$  – сварочный ток,  $P$  – давление,  $S$  – перемещение роликов

Детали к шовной сварке готовятся так же, как к точечной. При плохой очистке деталей ток шунтирования уменьшается, и качество шва ухудшается. Коробление деталей уменьшают прихваткой по оси шва точками без глубоких вмятин с шагом 50–100 мм. Очень плотная сборка усиливает шунтирование тока, а сборка с большими зазорами ведет к набеганию металла и нарушению герметичности соединений в особенности, на кольцевых деталях.

Режим задается током  $I_c$ , давлением  $P_c$ , диаметром и профилем электрода, скоростью сварки  $v_c$ . При шаговой сварке и сварке отдельными точками указывают время сварки  $t_c$  и паузы  $t_n$ .

Ток при шовной сварке на 15–40 % больше, чем при точечной сварке из-за шунтирования и более жестких режимов, давление практически такое же, а время сварки меньше. Скорость сварки выбирают по  $t_c$  и  $t_n$  с учетом перекрытия точек.

## 4.2. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ

### 4.2.1. ХОЛОДНАЯ СВАРКА

*Холодная сварка* – сварка давлением при значительной пластической деформации без внешнего нагрева соединяемых поверхностей. Физическая сущность процесса заключается в сближении за счет пластической деформации свариваемых поверхностей до образования металлических связей между ними и получения таким образом прочного сварного соединения. Отличительной особенностью холодной сварки является необходимость значительной объемной пластической деформации и малой степени ее локализации в зоне контакта соединяемых материалов. Это связано с необходимостью разрушения и удаления окисных пленок из зоны контакта механическим путем, т.е. за счет интенсивной совместной деформации. Большое усилие сжатия обеспечивает разрыв окисных пленок, их дробление и образование чистых поверхностей, способных к схватыванию.

Свариваемость металлов при холодной сварке зависит от их пластичности и качества подготовки поверхности. Чем пластичнее металлы, ровнее и чище их поверхности, тем качественнее они свариваются. Хорошо свариваются пластичные сплавы алюминия, меди, никеля, серебра, золота и подобные металлы и сплавы в однородных и разнородных сочетаниях. В недостаточно пластичных металлах при больших деформациях могут образовываться трещины. Высокопрочные металлы и сплавы холодной сваркой не сваривают.

Наиболее широкое применение холодная сварка нашла в производстве изделий домашнего обихода из алюминия и его сплавов, в электротехнической промышленности и транспорте для соединения медных и алюминиевых проводов. Холодной сваркой выполняют точечные, шовные, стыковые соединения. Перед сваркой поверхности, подлежащие сварке, очищают от загрязнений обезжириванием, обработкой вращающейся проволочной щеткой, шабрением. При сварке встык проволок обрезают только торцы. Для холодной сварки используют стандартное прессовое и прокатное оборудование, которое снабжают специальным инструментом в соответствии со свариваемыми деталями, применяют также специализированные машины.

Холодной сваркой соединяют металлы и сплавы толщиной 0,2–15 мм. Главными характеристиками процесса являются давление и величина деформаций. В зависимости от состава и толщины свариваемого металла давление составляет 150–1000 МПа, степень относительной деформации 50–90 %, которая имеет следующие значения для различных ме-

таллов, %: *Au* – 35–40, *Al* – 55–60, *Ti* – 70–75, *Pb* и *Ag* – 80–85, *Sn*, *Ni*, *Cu* – 85–90, алюминиевые сплавы – 75–80.

Листы толщиной 0,2–15 мм сваривают внахлестку путем вдавливания в толщу металла с одной или с двух сторон пуансонов. Соединения выполняют в виде отдельных точек или непрерывного шва. Ширину или диаметр пуансона  $d_n$  выбирают в зависимости от толщины  $S$  свариваемого материала,  $d_n = (1 \div 3)S$ . Геометрическое шовное соединение может быть получено вдавливанием пуансона ко всей длине шва или обкатыванием ролика.

Стержни, полосы, профили и провода соединяют встык сдавливанием свариваемых элементов. Давление при холодной сварке встык составляет для *Al*–700–800 МПа, *Cu*–2000–2500, *Cu* с *Al* – 1500–2000 МПа. Величина пластической деформации зависит от длины выпущенных из зажимов концов свариваемых стержней, которые затем полностью выдавливаются из зоны стыка в процессе сварки. Для обеспечения прочности соединения, которая зависит от величины пластической деформации, длина вылета стержня составляет для *Al*  $(1 \div 2)d$ , для *Cu* –  $(1,25 \div 1,5) d$ , где  $d$  – диаметр стержня. При сварке *Al* с *Cu* вылет медного стержня должен быть на 30–40 % больше, чем алюминиевого. Степень необходимой деформации при сварке разнородных металлов определяется свойствами того из свариваемых металлов, для которого требуется меньшая деформация. Этим пользуются при сварке малопластичных металлов, применяя прокладки из пластичных металлов или прослойки, наносимые электролитическим способом.

Разновидностью сварки давлением, близкой по физической сущности к холодной сварке, является термокомпрессионная сварка, которая отличается от холодной сварки тем, что место соединения подогревают до температур ниже температур образования жидких фаз, а затем сжимают. Основными параметрами процесса являются усилие сжатия, температура подогрева и продолжительность выдержки.

#### **4.2.2. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СВАРКА**

*Ультразвуковая сварка* – сварка давлением, осуществляемая при воздействии ультразвуковых колебаний. При этом виде сварки неразъемное соединение образуется при совместном воздействии на свариваемые детали механических колебаний высокой (ультразвуковой) частоты и относительно небольших сдавливающих усилий. Сварка осуществляется в результате взаимного трения свариваемых поверхностей, нагрева и давления. Силы трения возникают при действии на заготовки, сжатые осевой силой, механических колебаний ультразвуковой частоты

(20–30 кГц). Для получения такой частоты используют магнитострикционный эффект, заключающийся в изменении размеров некоторых металлов, сплавов и керамических материалов под действием переменного магнитного поля.

Машины для ультразвуковой сварки состоят из источника питания, аппаратуры управления, механической колебательной системы и привода давления. На рисунке 4.10 показаны простейшие схемы ультразвуковой сварки.

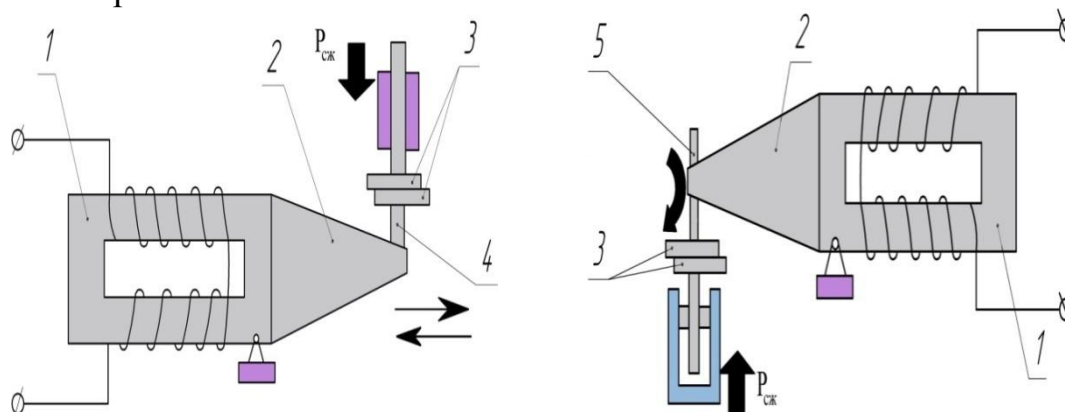


Рис. 4.10. Схема ультразвуковой сварки: а – точечная; б – шовная, 1 – магнитострикционный вибратор; 2 – волновод; 3 – свариваемые детали; 4 – электрод; 5 – ролик

Свариваемые заготовки 3 помещают на опоре. Наконечник (электрод 4 или ролик 5) соединен с магнитострикционным преобразователем 1 через трансформатор упругих колебаний, представляющих вместе с рабочим инструментом 2 волновод. Ультразвук излучается непрерывно в процессе сварки. Элементом колебательной системы, возбуждающей упругие колебания, является электромеханический преобразователь 1, использующий магнитострикционный эффект. Переменное напряжение создает в обмотке преобразователя намагничивающий ток, который возбуждает переменное магнитное поле в материале преобразователя. При изменении величины напряженности магнитного поля в материале возникает периодическое изменение размеров, при этом частота упругих колебаний равна двойной частоте тока. Амплитуда колебаний на конце волновода составляет на холостом ходу 20–40 мкм. Сварка происходит под действием трения, вызванного микроскопическим возвратно-поступательным перемещением частиц на трущихся поверхностях.

Таким образом, в результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются сдвиговые деформации, разрушающие поверхностные пленки. По мере разрушения пленок образуются узлы схватывания, приповерхностные слои металла нагреваются, немного размягчаются и под действием сжимающего усилия

пластически деформируются, свариваемые поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил, возникает прочное сварное соединение.

Сравнительно небольшое тепловое воздействие на свариваемые металлы обеспечивает минимальное изменение их структуры и свойств. Например, для *Сu* температура в зоне контакта не превышает 600 °С, при сварке *Al* – 200–300 °С.

Параметрами ультразвуковой сварки является мощность генератора колебаний, амплитуда колебаний, давление и время сварки. Ультразвуковую сварку применяют для получения точечных и шовных соединений металлов и сплавов небольшой толщины (как правило, менее 1 мм) и для сварки пластмасс. Преимущества ультразвуковой сварки:

- сварка в твердом состоянии без существенного нагрева свариваемых деталей, что дает возможность сваривать химически активные материалы и сплавы, образующие хрупкие соединения;
- возможность сварки и приварки тонких и ультратонких деталей;
- применение небольших сдавливающих усилий (0,1–2,5 кН), вследствие чего деформация в месте соединения незначительна (вмятины 5–10 %);
- малая мощность сварочного оборудования и несложность его конструкции.

Недостатками ультразвуковой сварки является ограниченность толщин свариваемых деталей (менее 1 мм), большая стоимость генераторов высокой частоты, действие высокой частоты на организм человека.

#### **4.2.3. ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА**

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

Основные параметры диффузионной сварки – температура нагрева, давление, время нагрева, среда, в которой проводят сварку.

Температура для однородных металлов, как правило, должна составлять 0,5–0,8 температуры плавления металла или сплава, а при сварке разнородных – 0,5–0,7 температуры более легкоплавкого металла. Такая температура ускоряет взаимную диффузию атомов материалов через поверхность стыка и облегчает снятие неровностей поверхности и пластическое деформирование металла.

Нагрев осуществляется преимущественно индукционными токами, можно использовать и другие источники нагрева: обычные сопротивления, электрический ток, пропускаемый по самим деталям, электронный луч и др.

Давление в контакте соединяемых деталей в зависимости от температуры и рода свариваемых материалов может меняться от 3–5 до 100 МПа. Осадку деталей осуществляют, главным образом, пневматическими системами. Время сварки составляет от нескольких минут до нескольких десятков минут. Удаление поверхностных пленок и предупреждение возможности их образования в процессе сварки достигается использованием вакуумной защиты, тщательной предварительной зачисткой свариваемых поверхностей. Сварку выполняют в условиях безокислительного нагрева, для этого в сварочной камере поддерживается разрежение  $10^{-1}$ – $10^{-3}$  Па.

Особым видом диффузионной сварки является сварка в контролируемой атмосфере, при которой в качестве защитных газов используют *Ar*, *He*.

Схема диффузионной сварки и циклограмма процесса показаны на рисунке 4.11. Установка для диффузионной сварки состоит из вакуумной камеры 3, в которой выполняют сварку деталей 2, специальных насосов для создания вакуума, нагревательного устройства с источником питания 1 и устройства для передачи давления.

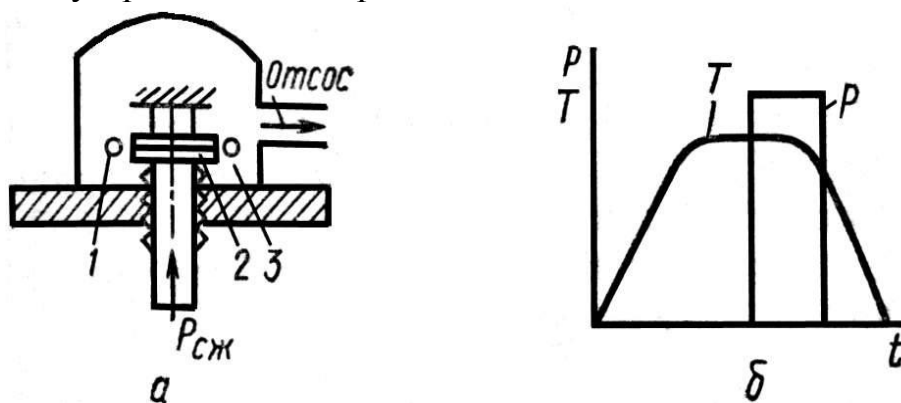


Рис. 4.11. Схема диффузионной сварки и циклограмма процесса

После откачки воздуха включают нагревательное устройство, начинается нагрев детали до заданной температуры с обеспечением равномерного нагрева деталей по всему сечению. После выравнивания температуры прикладывают усилие сжатия, которое в процессе сварки поддерживают постоянным. При охлаждении свариваемых деталей нагрузку снимают не сразу, а при температурах 100–400 °С, чтобы предупредить разрушение соединения из-за различных коэффициентов тер-



мической усадки соединяемых элементов. Ориентировочные параметры режима сварки, например для титановых сплавов: температура нагрева  $T=800\div 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , давление  $P=5\div 10\text{ МПа}$ , время нагрева  $t=5\div 10\text{ мин}$ ; для никеля, соответственно,  $T=1000\div 1170\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P=15\div 20\text{ МПа}$ ,  $t=6\div 20\text{ мин}$ .

Преимуществами диффузионной сварки является возможность сварки разнородных материалов, получение равнопрочных соединений без заметного изменения физико-химических свойств, отсутствие при-сачочных материалов, высокое качество защиты.

Диффузионная сварка позволяет создавать прочные соединения не только однородных, но и разнородных металлов и сплавов, в том числе и таких, которые резко различаются по своим свойствам: малопластичных, тугоплавких, не растворимых друг в друге или образующих между собой хрупкие соединения. С помощью диффузионной сварки получены соединения таких пар металлов и сплавов, непосредственно соединить которые другими видами сварки очень сложно (например, титан с коррозионностойкой сталью, титан с алюминием, сталь с чугуном, медь с молибденом, вольфрам с ниобием и др.).

В случае недостаточно интенсивной диффузии между соединяемыми материалами при резко различных коэффициентах линейного расширения или при возможном появлении хрупких соединений между ними целесообразно применять промежуточную прокладку или подслои в виде фольги, порошка и т.п. Параметры режима сварки выбирают в зависимости от наличия и свойств промежуточной прокладки. Таким способом соединяют не только металлические (например, жаропрочные сплавы), но и неметаллические материалы (например, получены соединения кварца через медную прослойку).

#### **4.2.4. СВАРКА ТРЕНИЕМ**

*Сварка трением* – сварка давлением, при которой нагрев осуществляется трением, вызываемым относительным перемещением свариваемых поверхностей. Отличительные особенности процесса:

- нагрев сжатых деталей осуществляется в результате трения соединяемых поверхностей при их вращении или возвратно-поступательном перемещении друг относительно друга, при этом механическая энергия непосредственно переходит в тепловую в месте стыка;
- строго локализованное тепловыделение в приповерхностных слоях свариваемых деталей;
- сварка происходит в твердом состоянии без расплавления металла свариваемых деталей;
- сварное соединение образуется в результате совместной пла-

стической деформации при нагреве и сжатии за счет возникновения металлических связей между чистыми контактирующими поверхностями свариваемых деталей; окисные пленки, имеющиеся на металлических поверхностях в месте соединения, разрушаются в результате трения и удаляются за счет пластической деформации в радиальном направлении.

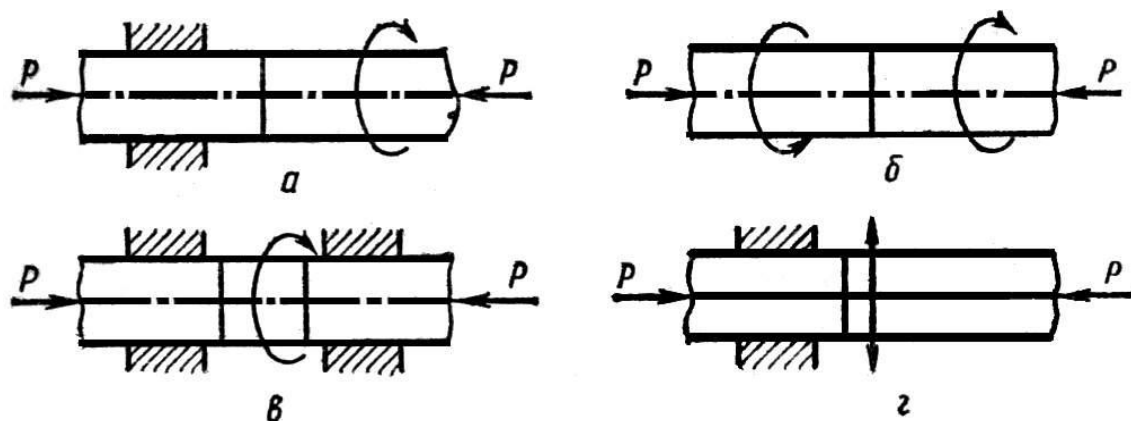


Рис. 4.12. Схема сварки трением: а – при вращении деталей, б – при вращении обеих деталей, в – при неподвижных деталях с вращающейся вставкой, г – при возвратно-поступательном движении одной детали

Принципиальные схемы сварки трением показаны на рисунке 4.12. Простейшая и наиболее распространенная схема процесса показана на рисунке 4.12, а. Две детали, подлежащие сварке, устанавливают соосно в зажимах машины; одна из них неподвижна, другая приводится во вращение вокруг их общей оси. На сопряженных торцовых поверхностях деталей, прижатых одна к другой осевым усилием  $P$ , возникают силы трения. Работа, затрачиваемая при вращении на преодоление этих сил трения, преобразуется в теплоту, которая выделяется на поверхностях трения и нагревает прилегающие к ним тонкие слои металла до температур, необходимых для образования сварного соединения ( $1000\text{--}1300\text{ }^{\circ}\text{C}$  – при сварке черных металлов). Нагрев заканчивается при быстром (практически мгновенном) прекращении относительного вращения. Подготовленный таким образом к сварке металл подвергают сильному сжатию – проковке, в результате образуется прочное сварное соединение.

Основными параметрами процесса сварки трением является скорость вращения свариваемых деталей, величина осевого усилия при нагреве и проковке, величина осадки при нагреве, длительность приложения усилия проковки. Примерный режим при сварке заготовок из углеродистой стали диаметром 50 мм: частота вращения 400 об/мин, осевое усилие при нагреве 100 кН, осевое усилие при проковке 200 кН, время

нагрева 20 с, время проковки 2,0 с, потребляемая мощность 25 кВт, машинное время процесса – 22 с.

Преимуществами сварки трением является высокая производительность процесса, малые затраты энергии (в 5–10 раз меньше, чем при стыковой контактной сварке), высокое качество сварных соединений, возможность сварки металлов и сплавов в различных сочетаниях, простота механизации и автоматизации.

Недостатками сварки трением является неуниверсальность процесса (с ее помощью можно сваривать такие пары деталей, из которых хотя бы одна должна быть телом вращения), громоздкость оборудования, наличие грата после сварки.

Сварку трением применяют для соединения деталей встык (стержней, труб) и для образования Т-образных соединений. В промышленном производстве сварку трением используют для соединения деталей сечением 50–10000 мм<sup>2</sup> из одноименных и ряда разноименных конструкционных материалов. Для сварки применяют универсальные, специализированные машины, имеющие зажимы для свариваемых деталей, механизм сжатия и привод вращения.

#### 4.2.5. СВАРКА ВЗРЫВОМ

*Сварка взрывом* – сварка, при которой соединение образуется за счет совместной пластической деформации в результате вызванного взрывом соударения быстро движущихся деталей. Кинетическая энергия соударения соединяемых частей затрачивается на работу совместной пластической деформации контактирующих слоев металла, приводящей к образованию сварного соединения. При этом часть работы пластической деформации переходит в теплоту, которая может разогревать металл в зоне соединения до высоких температур, вплоть до плавления локальных объемов.

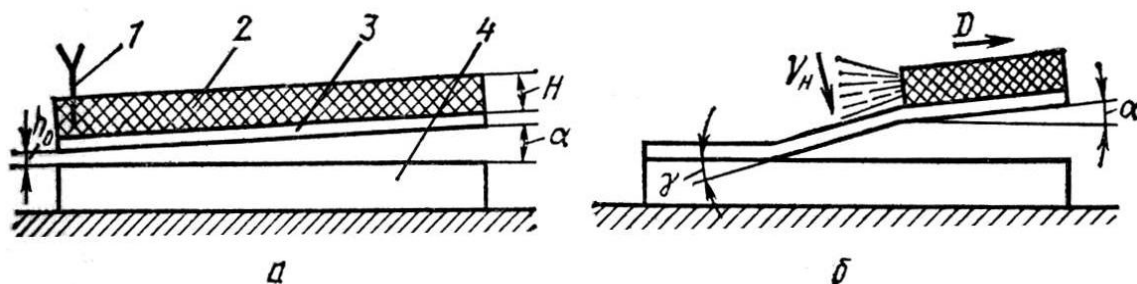


Рис. 4.13. Схема сварки взрывом

Большинство видов сварки взрывом основано на использовании направленного (кумулятивного) взрыва (рис. 4.13). Соединяемые поверхности двух заготовок 3 и 4 (в простейшем случае пластины), одна

из которых (4) неподвижна и является основанием, располагают параллельно или под углом а друг к другу на расстоянии  $h_0$ . На подвижную (метаемую) заготовку 3 кладут  $BB$  – взрывчатое вещество 2 толщиной  $H$ , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают детонатор 1. При возбуждении с помощью детонатора заряда  $BB$  по нему распространяется фронт детонационной волны со скоростью детонации  $D$ , составляющей 2000–8000 м/с (детонация – процесс разложения взрывчатого вещества с выделением газов и тепла). Образующиеся позади фронта детонации газообразные продукты взрыва в начальный период создают давление 100–200 ГПа, сохраняя в течение короткого времени по инерции прежний объем  $BB$ , а затем со скоростью 0,5–0,75  $D$  расширяются, сообщая находящемуся под ними участку металла импульс движения. Под действием этого импульса объемы заготовки последовательно вовлекаются в ускоренное движение к поверхности неподвижной части металла и с большой скоростью соударяются с ней. При установившемся процессе метаема пластина на некоторой длине дважды перегибается, ее наклонный участок под углом  $\gamma$  движется со скоростью  $D$  за фронтом детонационной волны. При соударении из вершины угла выносятся тонкие поверхностные слои, окислы и загрязнения. Высокоскоростное соударение метаемой части металла с неподвижной пластиной вызывает течение металла в их поверхностных слоях. Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил сцепления, и происходит схватывание по всей площади соединения с характерной волнообразной границей раздела соединяемых деталей. Продолжительность сварки взрывом не превышает несколько микросекунд. Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов. Это объясняется упрочнением тонких слоев металла, прилегающих к соединенным поверхностям, при их пластической деформации.

Сварку взрывом используют при изготовлении заготовок биметалла, для плакирования поверхностей конструкционных сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами, при сварке заготовок из разнородных материалов.

## 5. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Сварные конструкции контролируют на всех этапах их изготовления. Кроме того, систематически проверяют приспособления и оборудование. При предварительном контроле подвергаются проверке основные и вспомогательные материалы, устанавливается их соответствие чертежу и техническим условиям.

После заготовительных работ детали подвергают чаще всего наружному осмотру, т.е. проверяют внешний вид детали, качество поверхности, наличие заусенцев, трещин, забоин и т.п., а также измеряют универсальными и специальными инструментами, шаблонами, с помощью контрольных приспособлений. Особенно тщательно контролируют участки, подвергающиеся сварке. Профиль кромок, подготовленных под сварку плавлением, проверяют специальными шаблонами, а качество подготовки поверхности – с помощью оптических приборов или специальными микрометрами.

Во время сборки и прихватки проверяют расположение деталей друг относительно друга, величину зазоров, расположение и размер прихваток, отсутствие трещин, прожогов и других дефектов в местах прихваток и т.д. Качество сборки и прихватки определяют, главным образом, наружным осмотром и обмером.

Наиболее ответственным моментом является текущий контроль выполнения сварки. Организация контроля сварочных работ может производиться в двух направлениях: контролируют сами процессы сварки либо полученные изделия.

Контроль процессов позволяет предотвратить появление систематических дефектов и особенно эффективен при автоматизированной сварке (автоматическая и механизированная дуговая, электрошлаковая и др.). Существуют следующие способы контроля сварочных процессов.

**Контроль по образцам технологических проб.** В этом случае периодически изготавливают образцы соединений из материала той же марки и толщины, что и свариваемое изделие, и подвергают их всесторонней проверке: внешнему осмотру, испытаниям на прочность соединений, просвечиванию рентгеновскими лучами, металлографическому исследованию и т.д. К недостаткам такого способа контроля следует отнести некоторое различие между образцом и изделием, а также возможность изменения сварочных условий с момента изготовления одного образца до момента изготовления следующего.

**Контроль с использованием обобщающих параметров,** имею-

щих прямую связь с качеством сварки, например, использование дилатометрического эффекта в условиях точечной контактной сварки. Однако в большинстве случаев сварки плавлением трудно или не всегда удастся выявить наличие обобщающего параметра, позволяющего достаточно надежно контролировать качество соединений.

**Контроль параметров режима сварки.** Так как в большинстве случаев определенных обобщающих параметров для процессов сварки плавлением нет, то на практике контролируют параметры, непосредственно определяющие режим сварки. При дуговой сварке такими параметрами в первую очередь является сила тока, дуговое напряжение, скорость сварки, скорость подачи проволоки и др. Недостаток такого подхода заключается в необходимости контролирования многих параметров, каждый из которых в отдельности не может характеризовать непосредственно уровень качества получаемых соединений.

Контроль изделий производят пооперационно или после окончания изготовления. Последним способом обычно контролируют несложные изделия. Качество выполнения сварки на изделии оценивают по наличию наружных или внутренних дефектов. Развитие физики открыло большие возможности для создания высокоэффективных методов дефектоскопии с высокой разрешающей способностью, позволяющих проверять без разрушения качество сварных соединений в ответственных конструкциях.

В зависимости от того, нарушается или не нарушается целостность сварного соединения при контроле, различают неразрушающие и разрушающие методы контроля.

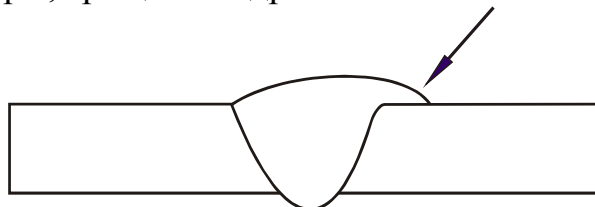
## **5.1. ОСНОВНЫЕ ДЕФЕКТЫ СВАРНЫХ ШВОВ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ**

В процессе образования сварных соединений в металле шва и зоне термического влияния могут возникать различные отклонения от установленных норм и технических требований, приводящие к ухудшению работоспособности сварных конструкций, снижению их эксплуатационной надежности, ухудшению внешнего вида изделия. Такие отклонения называют дефектами. Дефекты сварных соединений различают по причинам возникновения и месту их расположения (наружные и внутренние). В зависимости от причин возникновения их можно разделить на две группы. К первой группе относятся дефекты, связанные с металлургическими и тепловыми явлениями, происходящими в процессе образования, формирования и кристаллизации сварочной ванны и остывания сварного соединения (горячие и холодные трещины в металле шва и околошовной зоне, поры, шлаковые включения, неблагоприятные изме-

нения свойств металла шва и зоны термического влияния).

Ко второй группе дефектов, которые называют дефектами формирования швов, относят дефекты, происхождение которых связано в основном с нарушением режима сварки, неправильной подготовкой и сборкой элементов конструкции под сварку, неисправностью оборудования, недостаточной квалификацией сварщика и другими нарушениями технологического процесса. К дефектам этой группы относятся несоответствия швов расчетным размерам, непровары, подрезы, прожоги, наплывы, незаваренные кратеры и др. Виды дефектов приведены на рисунках 5.1.–5.10. Дефектами формы и размеров сварных швов является их неполномерность, неравномерные ширина и высота, бугристость, седловины, перетяжки и т.п. Эти дефекты снижают прочность и ухудшают внешний вид шва. Причины их возникновения при механизированных способах сварки – колебания напряжения в сети, проскальзывание проволоки в подающих роликах, неравномерная скорость сварки из-за люфтов в механизме перемещения сварочного автомата, неправильный угол наклона электрода, протекание жидкого металла в зазоры, их неравномерность по длине стыка и т.п. Дефекты формы и размеров швов косвенно указывают на возможность образования внутренних дефектов в шве.

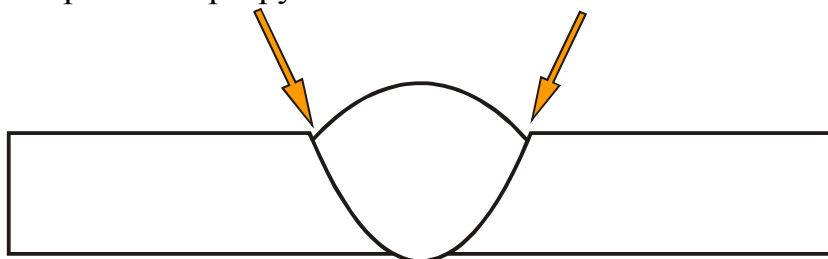
Наплывы (рис. 5.1) образуются в результате натекания жидкого металла на поверхность холодного основного металла без сплавления с ним. Они могут быть местными – в виде отдельных застывших капель, а также иметь значительную протяженность вдоль шва. Чаще всего наплывы образуются при выполнении горизонтальных сварных швов на вертикальной плоскости. Причины образования наплывов – большой сварочный ток, слишком длинная дуга, неправильный наклон электрода, большой угол наклона изделия при сварке на спуск. При выполнении кольцевых швов наплывы образуются при недостаточном или излишнем смещении электрода с зенита. В местах наплывов часто могут выявляться непровары, трещины и др.



*Рис. 5.1. Наплыв электродного металла на основной*

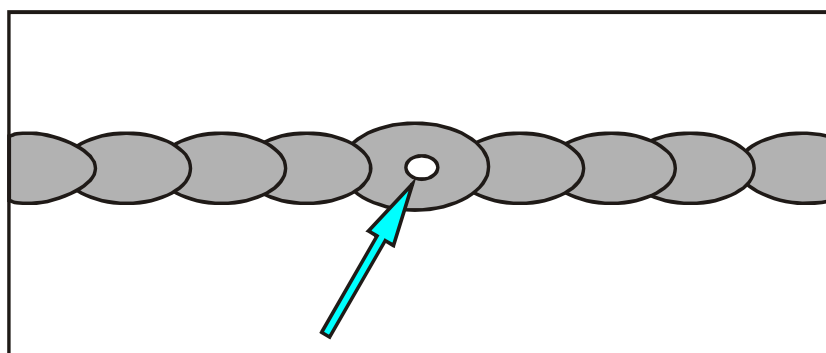
Подрезы (рис. 5.2) представляют собой продолговатые углубления (канавки), образовавшиеся в основном металле вдоль края шва. Они возникают в результате большого сварочного тока и длинной дуги. Ос-

новой причиной подрезов при выполнении угловых швов является смещение электрода в сторону вертикальной стенки. Это вызывает значительный разогрев металла вертикальной стенки и его стекание при оплавлении на горизонтальную стенку. Подрезы приводят к ослаблению сечения сварного соединения и концентрации в нем напряжений, что может явиться причиной разрушения.



*Рис. 5.2. Подрезы на основном металле*

Прожоги – это сквозные отверстия в шве, образованные в результате вытекания части металла ванны (рис. 5.3). Причинами их образования могут быть большой зазор между свариваемыми кромками, недостаточное притупление кромок, чрезмерный сварочный ток, недостаточная скорость сварки. Наиболее часто прожоги образуются при сварке тонкого металла и выполнении первого прохода многослойного шва. Прожоги могут также образовываться в результате недостаточно плотного поджатия сварочной подкладки или флюсовой подушки.

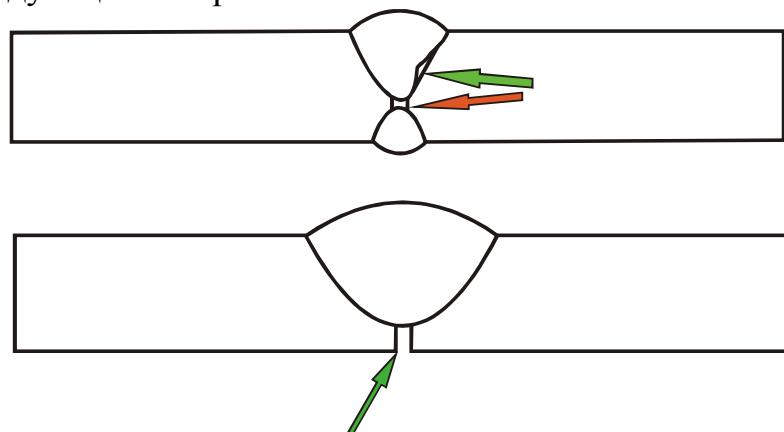


*Рис. 5.3. Сквозной прожог металла*

Непроваром (рис. 5.4) называют местное несплавление кромок основного металла или несплавление между собой отдельных валиков при многослойной сварке. Непровары уменьшают сечение шва и вызывают концентрацию напряжений в соединении, что может резко снизить прочность конструкции. Причины образования непроваров – плохая зачистка металла от окалины, ржавчины и загрязнений, малый зазор при сборке, большое притупление, малый угол скоса кромок, недостаточный сварочный ток, большая скорость сварки, смещение электрода

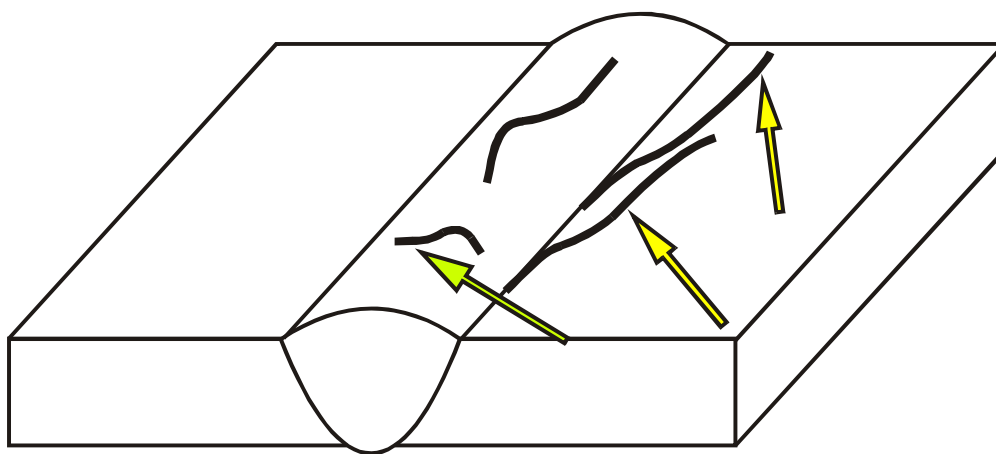


от центра стыка. Непровары выше допустимой величины подлежат удалению и последующей заварке.



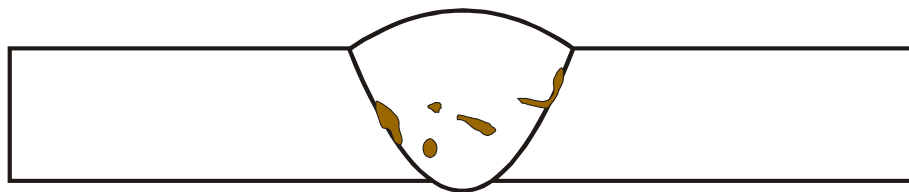
*Рис. 5.4. Непровар корня шва, непровар кромки (несплавление)*

Трещины (рис. 5.5) так же, как и непровары, являются наиболее опасными дефектами сварных швов. Они могут возникать как в самом шве, так и в околошовной зоне и располагаться вдоль или поперек шва. По своим размерам трещины могут быть макро- и микроскопическими. На образование трещин влияет повышенное содержание углерода, а также примеси серы и фосфора.



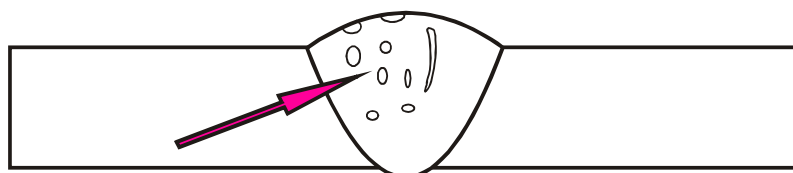
*Рис. 5.5. Трещины продольные и поперечные на шве и основном металле*

Шлаковые включения (рис. 5.6), представляющие собой вкрапления шлака в шве, образуются в результате плохой зачистки кромок деталей и поверхности сварочной проволоки от оксидов и загрязнений. Они возникают при сварке длинной дугой, на недостаточном сварочном токе и чрезмерно большой скорости сварки, а при многослойной сварке — недостаточной зачистке шлаков от предыдущих слоев. Шлаковые включения ослабляют сечение шва и его прочность.



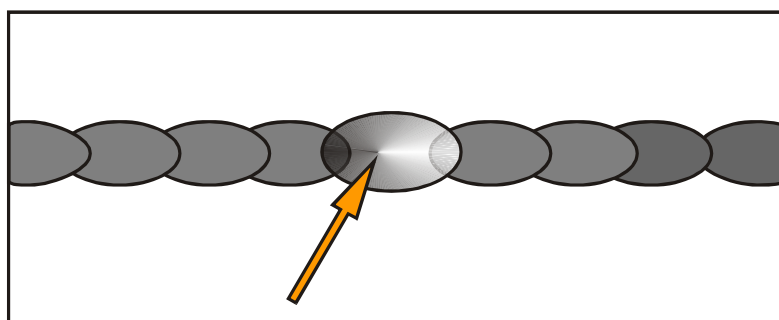
*Рис. 5.6. Шлаковые включения в сварном шве*

Газовые поры появляются в сварных швах при недостаточной полноте удаления газов при кристаллизации металла шва. Причины пор – повышенное содержание углерода при сварке сталей, загрязнения на кромках, использование влажных флюсов, защитных газов, высокая скорость сварки, неправильный выбор присадочной проволоки. Поры могут располагаться в шве отдельными группами, в виде цепочек или единичных пустот. Иногда они выходят на поверхность шва в виде воронкообразных углублений, образуя, так называемые, свищи. Поры также ослабляют сечение шва и его прочность, сквозные поры приводят к нарушению герметичности соединений.



*Рис. 5.7. Поры внутренние и выходящие на поверхность сварного шва*

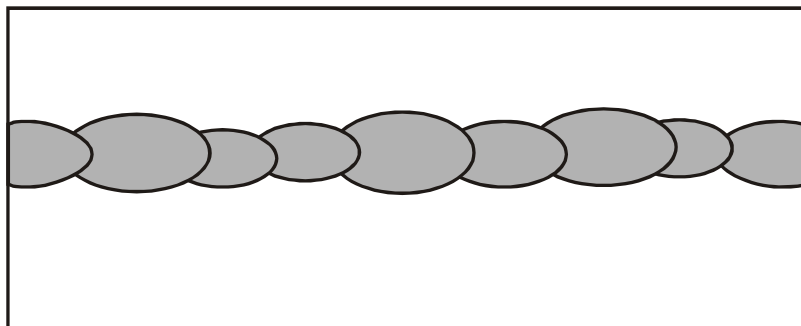
Кратеры образуются при обрыве дуги в виде углублений в застывшей сварочной ванне (рис. 5.8). Место кратера должно быть обязательно заварено. При автоматической сварке шов обычно заканчивают на выводной планке, где и появляется кратер.



*Рис. 5.8. Незаваренный кратер при окончании процесса сварки*

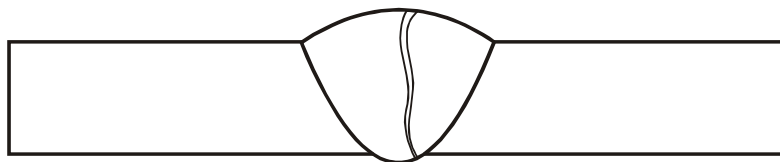
Следующая разновидность дефекта – *неравномерность шва*, *несоответствие геометрических размеров шва* требуемым (рис. 5.9). Появляется дефект по причине неустойчивого режима сварки, неточного направления электрода. Если это автоматизированная сварка, то причины

закljučаются в колебании напряжения в сети, проскальзывание проволоки в подающих роликах, протекание жидкого металла в зазоры, неправильный угол наклона электрода и т.д.



*Рис. 5.9. Неравномерность и несоответствие размеров шва, требуемых нормативными документами*

Очень редко встречаются свищи в виде сквозных дефектов (рис. 5.10).



*Рис. 5.10. Сквозной дефект – свищ*

Микроструктура шва и зоны термического влияния в значительной степени определяет свойства сварных соединений и характеризует их качество.

К дефектам микроструктуры относят следующие: повышенное содержание оксидов и различных неметаллических включений, микропоры и микротрещины, крупнозернистость, перегрев, пережог металла и др. Перегрев характеризуется чрезмерным укрупнением зерна и огрублением структуры металла. Более опасен пережог – наличие в структуре металла зерен с окисленными границами. Такой металл имеет повышенную хрупкость и не поддается исправлению. Причиной пережога является плохая защита сварочной ванны при сварке, а также сварка на чрезмерно большой силе тока.

#### **5.1.1. СПОСОБЫ УСТРАНЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ**

Все недопустимые дефекты сварного шва подлежат обязательному устранению, а если это невозможно – сварное изделие бракуется.

В конструкциях из стали допускается устранение дефектов плазменно-дуговой или воздушно-дуговой строжкой с последующей обра-

боткой поверхности абразивами. Можно устранять наружные дефекты шлифовкой. Если производится заварка выборок в швах, подлежащих обязательной термической обработке (из легированных и хромистых сталей), то приступать к исправлению дефектов следует только после отпуска сварного соединения (при 450...650 °С).

При удалении дефектных мест целесообразно соблюдать определённые условия. Длина удаляемого участка должна быть равна длине дефектного места плюс 10...20 мм с каждой стороны, а ширина разделки выборки должна быть такой, чтобы ширина шва после заварки не превышала его двойной ширины до заварки. Форма и размеры подготовленных под заварку выборок должны обеспечивать возможность надёжного провара в любом месте. Поверхность каждой выборки должна иметь плавные очертания без резких выступов, острых углублений и заусенцев. При заварке дефектного участка должно быть обеспечено перекрытие прилегающих участков основного металла.

После заварки участок необходимо зачистить до полного удаления раковин и рыхлости в кратере, выполнить на нём плавные переходы к основному металлу.

Удаление заглубленных наружных и внутренних дефектов (дефектных участков) в соединениях из алюминия, титана и их сплавов следует производить только механическим способом – вышлифовкой абразивным или выборкой режущим инструментом, а также вырубкой с последующей зашлифовкой.

Подрезы принято устранять наплавкой ниточного шва по всей длине дефекта, но это ведет к повышению расхода сварочных материалов. В таких случаях целесообразно применять оплавление подреза аргонодуговыми горелками, что позволяет «сгладить» дефекты без дополнительной наплавки. Однако производить сварочные работы аргонодуговой сваркой неплавящимся электродом по швам, выполненным другими способами сварки, не рекомендуется из-за возможности нахождения в шве пор, шлака и т.п.

Наплывы и неравномерности формы шва исправляют механической обработкой дефекта по всей длине.

Кратеры швов заваривают. Прожоги в швах наблюдаются редко, их зачищают и заваривают.

Заварку дефектного участка производят одним из способов сварки плавлением (ручной дуговой, дуговой в среде инертных газов и др.).

Исправленные швы сварных соединений должны быть повторно проконтролированы в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству изделия. Если при этом вновь будут обнаружены дефекты, то производят их повторное исправление с соблюдением необходимых требований. Число исправлений одного и того же дефектного участка

зависит от марки стали, технологии, принятой для данной стали и, как правило, не превышает двух, трёх раз. Ограничение связано с изменениями основного металла, происходящими при сварке.

## **5.2. НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ**

К неразрушающим методам контроля качества сварных соединений относят внешний осмотр, контроль на непроницаемость (или герметичность) конструкций, контроль для обнаружения дефектов, выходящих на поверхность, контроль скрытых и внутренних дефектов.

### **5.2.1. ВНЕШНИЙ ОСМОТР И ОБМЕРЫ СВАРНЫХ ШВОВ**

Внешний осмотр и обмеры сварных швов – наиболее простые и широко распространенные способы контроля их качества. Они являются первыми контрольными операциями по приемке готового сварного узла или изделия. Этим видам контроля подвергают все сварные швы независимо от того, как они будут испытаны в дальнейшем.

Внешним осмотром сварных швов выявляют наружные дефекты: непровары, наплывы, подрезы, наружные трещины и поры, смещение свариваемых кромок деталей и т.п. Визуальный осмотр производят как невооруженным глазом, так и с применением лупы с увеличением до 10 раз.

Обмеры сварных швов позволяют судить о качестве сварного соединения: недостаточное сечение шва уменьшает его прочность, слишком большое – увеличивает внутренние напряжения и деформации. Размеры сечения готового шва проверяют по его параметрам в зависимости от типа соединения. У стыкового шва проверяют его ширину, высоту, размер выпуклости со стороны корня шва, в угловом – измеряют катет. Замеренные параметры должны соответствовать ТУ или ГОСТам. Размеры сварных швов контролируют обычно измерительными инструментами или специальными шаблонами.

Внешний осмотр и обмеры сварных швов не дают возможности окончательно судить о качестве сварки. Они устанавливают только внешние дефекты шва и позволяют определить их сомнительные участки, которые могут быть проверены более точными способами.

### **5.2.2. КОНТРОЛЬ НЕПРОНИЦАЕМОСТИ СВАРНЫХ ШВОВ И СОЕДИНЕНИЙ**

Сварные швы и соединения ряда изделий и сооружений должны отвечать требованиям непроницаемости (герметичности) для различных жидкостей и газов. Учитывая это, во многих сварных конструкциях (емкости, трубопроводы, химическая аппаратура и т.д.) сварные швы под-

вергают контролю на непроницаемость. Этот вид контроля производится после окончания монтажа или изготовления конструкции. Дефекты, выявленные внешним осмотром, устраняются до начала испытаний. Непроницаемость сварных швов контролируют следующими методами: капиллярным (керосином), химическим (аммиаком), пузырьковым (воздушным или гидравлическим давлением), вакуумированием или газо-электрическими течеискателями

Контроль керосином основан на физическом явлении капиллярности, которое заключается в способности керосина подниматься по капиллярным ходам – сквозным порам и трещинам. В процессе испытания сварные швы покрываются водным раствором мела с той стороны, которая более доступна для осмотра и выявления дефектов. После высушивания окрашенной поверхности с обратной стороны шов обильно смачивают керосином. Неплотности швов выявляют по наличию на меловом покрытии следов проникшего керосина. Появление отдельных пятен указывает на поры и свищи, полос – сквозных трещин и непроваров в шве. Благодаря высокой проникающей способности керосина обнаруживаются дефекты с поперечным размером 0,1 мм и менее.

Контроль аммиаком основан на изменении окраски некоторых индикаторов (раствор фенолфталеина, азотнокислой ртути) под воздействием щелочей. В качестве контролирующего реагента применяется газ аммиак. При испытании на одну сторону шва укладывают бумажную ленту, смоченную 5 %-ным раствором индикатора, а с другой стороны шов обрабатывают смесью аммиака с воздухом. Аммиак, проникая через неплотности сварного шва, окрашивает индикатор в местах залегания дефектов).

Контроль воздушным давлением (сжатым воздухом или другими газами) подвергают сосуды и трубопроводы, работающие под давлением, а также резервуары, цистерны и т.п. Это испытание проводят с целью проверки общей герметичности сварного изделия. Малогабаритные изделия полностью погружают в ванну с водой, после чего в него подают сжатый воздух под давлением, на 10–20 % превышающим рабочее. Крупногабаритные конструкции после подачи внутреннего давления по сварным швам покрывают пенным индикатором (обычно раствор мыла). О наличии неплотностей в швах судят по появлению пузырьков воздуха. При испытании сжатым воздухом (газами) следует соблюдать правила безопасности.

Контроль гидравлическим давлением применяют при проверке прочности и плотности различных сосудов, котлов, паро-, водо- и газопроводов и других сварных конструкций, работающих под избыточным давлением. Перед испытанием сварное изделие полностью герметизи-

руют водонепроницаемыми заглушками. Сварные швы с наружной поверхности тщательно просушивают обдувом воздухом. Затем изделие заполняют водой под избыточным давлением, в 1,5–2 раза превышающим рабочее, и выдерживают в течение заданного времени. Дефектные места определяют по проявлению течи, капель или увлажнению поверхности швов.

Вакуумному контролю подвергают сварные швы, которые невозможно испытать керосином, воздухом или водой, доступ к которым возможен только с одной стороны. Его широко применяют при проверке сварных швов днищ резервуаров, газгольдеров и других листовых конструкций. Сущность метода заключается в создании вакуума на одной стороне контролируемого участка сварного шва и регистрации на этой же стороне шва проникновения воздуха через имеющиеся неплотности.

Люминесцентный контроль и контроль методом красок, называемый также капиллярной дефектоскопией, проводят с помощью специальных жидкостей, которые наносят на контролируемую поверхность изделия. Эти жидкости, обладающие большой смачивающей способностью, проникают в мельчайшие поверхностные дефекты – трещины, поры, непровары. Люминесцентный контроль основан на свойстве некоторых веществ светиться под действием ультрафиолетового облучения. Перед контролем поверхности шва и околошовной зоны очищают от шлака и загрязнений, на них наносят слой проникающей жидкости, которая затем удаляется, а изделие просушивается. Для обнаружения дефектов поверхность облучают ультрафиолетовым излучением – в местах дефектов следы жидкости обнаруживаются по свечению.

Контроль методом красок заключается в том, что на очищенную поверхность сварного соединения наносится смачивающая жидкость, которая под действием капиллярных сил проникает в полость дефектов. После ее удаления на поверхность шва наносится белая краска. Выступающие следы жидкости обозначают места расположения дефектов.

Контроль газозлектрическими течеискателями применяют для испытания ответственных сварных конструкций, так как такие течеискатели достаточно сложны и дорогостоящи. В качестве газа-индикатора в них используется гелий. Обладая высокой проникающей способностью, он способен проходить через мельчайшие несплошности в металле и регистрируется течеискателем. В процессе контроля сварных швов обдувают или внутренний объем изделия заполняют смесью газа-индикатора с воздухом. Проникающий через неплотности газ улавливается щупом и анализируется в течеискателе.

### **5.2.3. МАГНИТНЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ**

Магнитные методы контроля основаны на обнаружении полей магнитного рассеяния, образующихся в местах дефектов при намагничивании контролируемых изделий. Изделие намагничивают, замыкая им сердечник электромагнита или помещая внутрь соленоида. Требуемый магнитный поток можно создать и пропусканием тока по виткам (3–6 витков) сварочного провода, наматываемого на контролируемую деталь. В зависимости от способа обнаружения потоков рассеяния различают следующие методы магнитного контроля: метод магнитного порошка, индукционный и магнитографический. При методе магнитного порошка на поверхность намагниченного соединения наносят магнитный порошок (окалина, железные опилки) в сухом виде (сухой способ) или суспензию магнитного порошка в жидкости (керосин, мыльный раствор, вода – мокрый способ). Над местом расположения дефекта создадутся скопления порошка в виде правильно ориентированного магнитного спектра. Для облегчения подвижности порошка изделие слегка обстукивают. С помощью магнитного порошка выявляют трещины, невидимые невооруженным глазом, внутренние трещины на глубине не более 15 мм, расслоение металла, а также крупные поры, раковины и шлаковые включения на глубине не более 3–5 мм.

При индукционном методе магнитный поток в изделии наводят электромагнитом переменного тока. Дефекты обнаруживают с помощью искателя, в катушке которого под воздействием поля рассеяния индуцируется э.д.с., вызывающая оптический или звуковой сигнал на индикаторе.

При магнитографическом методе поле рассеяния фиксируется на эластичной магнитной ленте, плотно прижатой к поверхности соединения. Запись воспроизводится на магнитографическом дефектоскопе. В результате сравнения контролируемого соединения с эталоном делается вывод о качестве соединения.

### **5.2.4. РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ**

Радиационные методы контроля являются надежными и широко распространенными методами контроля, основанными на способности рентгеновского и гамма-излучения проникать через металл. Выявление дефектов при радиационных методах основано на разном поглощении рентгеновского или гамма-излучения участками металла с дефектами и без них. Сварные соединения просвечивают специальными аппаратами. С одной стороны шва на некотором расстоянии от него помещают источник излучения, с противоположной стороны плотно прижимают кас-



сету с чувствительной фотопленкой (рис. 5.11). При просвечивании лучи проходят через сварное соединение и облучают пленку. В местах, где имеются поры, шлаковые включения, непровары, крупные трещины, на пленке образуются темные пятна. Вид и размеры дефектов определяют сравнением пленки с эталонными снимками. Источниками рентгеновского излучения служат специальные аппараты (РУП-150-1, РУП-120-5-1 и др.). Рентгенопросвечиванием целесообразно выявлять дефекты в деталях толщиной до 60 мм. Наряду с рентгенографированием (экспозицией на пленку) применяют и рентгеноскопию, т.е. получение сигнала о дефектах при просвечивании металла на экран с флуоресцирующим покрытием. Имеющиеся дефекты в этом случае рассматривают на экране. Такой способ можно сочетать с телевизионными устройствами и контроль вести на расстоянии.

При просвечивании сварных соединений гамма-излучением источником излучения служат радиоактивные изотопы: кобальт-60, тулий-170, иридий-192 и др. Ампула с радиоактивным изотопом помещается в свинцовый контейнер. Технология выполнения просвечивания подобна рентгеновскому просвечиванию. Гамма-излучение отличается от рентгеновского большей жесткостью и меньшей длиной волны, поэтому оно может проникать в металл на большую глубину. Оно позволяет просвечивать металл толщиной до 300 мм. Недостатками просвечивания гамма-излучением по сравнению с рентгеновским являются меньшая чувствительность при просвечивании тонкого металла (менее 50 мм), невозможность регулирования интенсивности излучения, большая опасность гамма-излучения при неосторожном обращении с гамма-аппаратами.

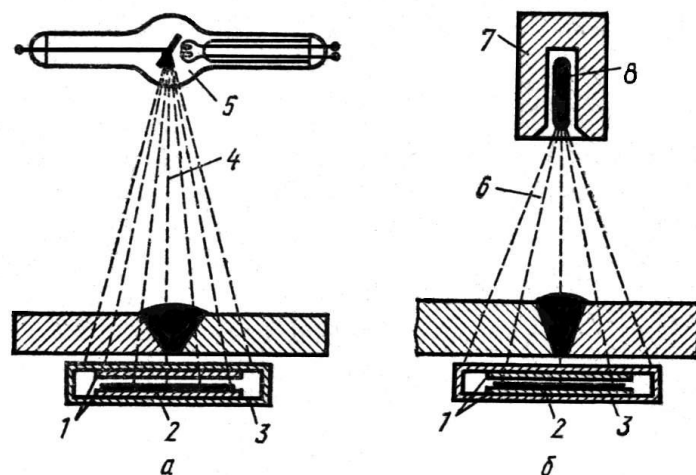


Рис 5.11. Схема радиационного просвечивания швов:  
*а* – рентгеновское, *б* – гамма-излучением; 1 – источник излучения,  
 2 – изделие, 3 – чувствительная пленка

### 5.2.5. УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД

Ультразвуковой контроль основан на способности ультразвуковых волн проникать в металл на большую глубину и отражаться от находящихся в нем дефектных участков. В процессе контроля пучок ультразвуковых колебаний от вибрирующей пластинки-щупа (пьезокристалла) вводится в контролируемый шов. При встрече с дефектным участком ультразвуковая волна отражается от него и улавливается другой пластинкой-щупом, которая преобразует ультразвуковые колебания в электрический сигнал (рис. 5.12).

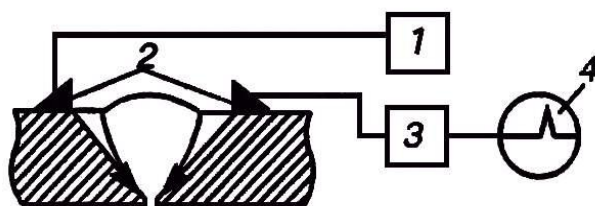


Рис. 5.12. Ультразвуковой контроль швов: 1 – генератор УЗК, 2 – щуп, 3 – усилитель, 4 – экран

Эти колебания после их усиления подаются на экран электронно-лучевой трубки дефектоскопа, которые свидетельствуют о наличии дефектов. По характеру импульсов судят о протяженности дефектов и глубине их залегания. Ультразвуковой контроль можно проводить при одностороннем доступе к сварному шву без снятия усиления и предварительной обработки поверхности шва.

Ультразвуковой контроль имеет следующие преимущества: высокая чувствительность (1–2 %), позволяющая обнаруживать, измерять и определять местонахождение дефектов площадью 1–2 мм<sup>2</sup>; большая проникающая способность ультразвуковых волн, позволяющая контролировать детали большой толщины; возможность контроля сварных соединений с односторонним подходом; высокая производительность и отсутствие громоздкого оборудования. Существенным недостатком ультразвукового контроля является сложность установления вида дефекта. Этот метод применяют и как основной вид контроля, и как предварительный с последующим просвечиванием сварных соединений рентгеновским или гамма-излучением.

### 5.3. РАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

К этим методам контроля качества сварных соединений относятся механические испытания, металлографические исследования, специальные испытания с целью получения характеристик сварных соединений.

Эти испытания проводят на сварных образцах, вырезаемых из изделия или из специально сваренных контрольных соединений – технологических проб, выполненных в соответствии с требованиями и технологией на сварку изделия в условиях, соответствующих сварке изделия.

Целью испытаний является оценка прочности и надежности сварных соединений и конструкций, оценка качества основного и присадочного металла, оценка правильности выбранной технологии, оценка квалификации сварщиков.

Свойства сварного соединения сопоставляют со свойствами основного металла. Результаты считаются неудовлетворительными, если они не соответствуют заданному уровню.

Механические испытания проводятся по ГОСТ 6996-66, предусматривающему следующие виды испытаний сварных соединений и металла шва: испытание сварного соединения в целом и металла разных его участков (наплавленного металла, зоны термического влияния, основного металла) на статическое растяжение, статистический изгиб, ударный изгиб, стойкость против старения, измерение твердости.

Контрольные образцы для механических испытаний выполняют определенных размеров и формы.

Испытаниями на статическое растяжение определяют прочность сварных соединений. Испытаниями на статический изгиб определяют пластичность соединения по величине угла изгиба до образования первой трещины в растянутой зоне. Испытания на статический изгиб проводят на образцах с продольными и поперечными швами со снятым усилением шва заподлицо с основным металлом. Испытаниями на ударный изгиб, а также разрыв определяют ударную вязкость сварного соединения. По результатам определения твердости судят о структурных изменениях и степени подкалки металла при охлаждении после сварки.

Основной задачей металлографических исследований является установление структуры металла и качества сварного соединения, выявление наличия и характера дефектов. Металлографические исследования включают в себя макро- и микроструктурный методы анализа металлов.

При макроструктурном методе изучают макрошлифы и изломы металла невооруженным глазом или с помощью лупы.

Макроисследование позволяет определить характер и расположение видимых дефектов в разных зонах сварных соединений.

При микроструктурном анализе исследуется структура металла при увеличении в 50–2000 раз с помощью оптических микроскопов. Микроисследование позволяет установить качество металла, в том чис-

ле обнаружить пережог металла, наличие оксидов, засоренность металла шва неметаллическими включениями, величину зерен металла, изменение состава его, микроскопические трещины, поры и некоторые другие дефекты структуры. Методика изготовления шлифов для металлографических исследований заключается в вырезке образцов из сварных соединений, шлифовке, полировке и травлении поверхности металла специальными травителями. Металлографические исследования дополняются измерением твердости и при необходимости химическим анализом металла сварных соединений. Специальные испытания проводят с целью получения характеристик сварных соединений, учитывающих условия эксплуатации сварных конструкций: определение коррозионной стойкости для конструкций, работающих в различных агрессивных средах; усталостной прочности при циклических нагружениях; ползучести при эксплуатации в условиях повышенных температур и др.

Применяют также и методы контроля с разрушением изделия. В ходе таких испытаний устанавливают способность конструкций выдерживать заданные расчетные нагрузки и определяют разрушающие нагрузки, т.е. фактический запас прочности. При испытаниях изделий с разрушением схема нагружения их должна соответствовать условиям работы изделия при эксплуатации. Число изделий, подвергающихся испытаниям с разрушением, устанавливается техническими условиями и зависит от степени их ответственности, системы организации производства и технологической отработанности конструкции.

## 6. ОРГАНИЗАЦИЯ И ЭКОНОМИКА СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

### 6.1. ТЕХНИЧЕСКОЕ НОРМИРОВАНИЕ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

#### 6.1.1. НОРМЫ ТРУДА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

В задачи нормирования труда (работ) входит установление необходимых затрат и результатов труда, а также оптимальных соотношений между численностью работников различных групп и количеством единиц оборудования. Нормирование труда является основой планирования и организации сварочного производства, оплаты труда, стимулирования роста производительности труда и эффективности производства сварных конструкций, основой управления производственными процессами.

Система норм труда характеризует различные стороны трудовой деятельности работников, поэтому охватывает нормы времени, выработки, обслуживания, численности, управляемости и нормированные задания.

*Нормы времени* (трудоемкость операции) – необходимые затраты времени одного работника или бригады на выполнение единицы работы (продукции), человекоминуты (человекочасы).

*Нормы выработки* – количество единиц продукции определенного вида, которое должно быть изготовлено одним работником или бригадой за данный отрезок времени (час, смену) в натуральном выражении (штуках сварных деталей, метрах шва, массе наплавленного металла и т.д.).

*Норма обслуживания* – требуемое количество оборудования, рабочих мест, единиц производственной площади и других производственных объектов, закрепленных для обслуживания за одним работником или бригадой.

*Норма численности* – численность работников, необходимых для выполнения запланированного объема сварочных работ или обслуживания одного или нескольких автоматов (агрегатов, единиц оборудования).

*Норма управляемости* – число работников, которое должно быть непосредственно подчинено одному руководителю.

*Нормированное задание* – необходимый ассортимент и объем работ, которые должны быть выполнены одним работником или бригадой за определенное планируемое время (смену, сутки, месяц). Оно характеризует, как и норма выработки, результаты деятельности работников.

Однако в данном случае результаты исчисляются не только в натуральном выражении, но и в нормочасах, норморублях. Этим отличается нормированное задание от нормы выработки. Перечисленные виды норм устанавливают исходя из необходимых затрат времени на выполнение операций, ТП, различных видов работ и входящих в них элементов. В связи с этим высокие требования предъявляются к качеству норм труда – к точности и достоверности установленных затрат рабочего времени: подготовительно-заключительного  $t_{п.з}$ , основного  $t_0$ , вспомогательного  $t_{в.н.}$ , оперативного  $t_{опер}$  обслуживания рабочего места  $t_{обсл}$  на отдых и личные надобности (регламентированные перерывы в работе)  $t_{п.}$ .

Особенность  $t_{п.з}$  состоит в том, что оно определяется на весь объем работ (на всю обрабатываемую партию). В массовом и крупносерийном производстве  $t_{п.з}$  в норме штучного времени  $t_{шт}$  весьма мало и поэтому не учитывается

$$t_{шт} = t_0 + t_{в.н.} + t_{обсл} + t_{п.}$$

или

$$t_{шт} = t_{опер} \left( 1 + \frac{a+b}{100} \right), \quad (32)$$

где  $t_{в.н.}$  – вспомогательное время, не перекрываемое машинным;  $a, b$  – соответственно проценты, которые составляют  $t_{обсл}$  и  $t_{п.}$  от оперативного времени, определяемого по формуле:

$$t_{опер} = t_0 + t_{в.н.} \quad (33)$$

В единичном и серийном производстве сварных конструкций из-за частых переналадок оборудования в результате широкой и переменной их номенклатуры  $t_{п.з}$  составляет значительную величину и учитывается в норме времени, называемом штучно-калькуляционным

$$t_{шт.к} = t_{шт} + \left( \frac{t_{п.з}}{n} \right), \quad (34)$$

где  $n$  – число сварных деталей (заготовок) в партии или число стыков, участков шва, приходящихся на партию сварных элементов.

Норма времени на партию будет

$$t_{пар} = t_{шт.к} n + t_{п.з} \quad (35)$$

В серийном производстве

$$t_{пар} = t_{шт.к} n + t_{п.з} \quad (36)$$

В единичном и мелкосерийном сварочном производстве величина  $t_{п.}$  зособенно велика (20...10 % времени смены), поэтому в этих условиях она часто нормируется в минутах на смену, а в норму времени включается через коэффициент подготовительно-заключительного времени  $k_{п.з}$  и имеет вид

$$k_{п.з} = 1 - \left[ \frac{(F_{см} - t_{п.з})}{F_{см}} \right]; \quad (37)$$

$$t_{шт.к} = t_{шт} k_{п.з} = t_{шт} \left( 1 - \frac{F_{см} - t_{п.з}}{F_{см}} \right), \quad (38)$$

где  $F_{см}$  – рабочее время за смену (ее продолжительность 492 мин).

Величина  $t_{п.з}$  для повторяющихся сварочных работ устанавливается по нормативам, а для оригинальных – на основе данных фотографии рабочего дня. Основными путями уменьшения  $t_{п.з}$  являются:

- совмещение времени выполнения части подготовительно-заключительных работ с протеканием основного машинного времени;
- централизация доставки на рабочее место материалов, приспособлений, средств механизации и автоматизации и т.д. до начала работ;
- наладка, подналадка и перенастройка оборудования в обеденные и межсменные перерывы.

*Основное (технологическое)* время рассчитывают с учетом целевого назначения и характера операций (ТП), вида оборудования, режимов его работы и паспортных данных по приведенным ниже формулам с использованием нормативов времени.

*Вспомогательное время*, затрачиваемое на установку, закрепление, раскрепление и снятие заготовок (деталей, узлов), управление оборудованием, изменение режимов его работы, контроль за ходом ТП и качеством продукции, нормируют по нормативам; при их отсутствии – путем изучения фактических затрат времени на рабочем месте методом хронометража. В том и другом случаях необходимо уменьшать долю  $t_b$  в структуре  $t_{опер}$ . Сказанное особо важно при скоростных режимах работы оборудования, обуславливающих резкое сокращение машинного времени  $t_m$ . При этом  $t_b$  остается без изменения или уменьшается незначительно. Важным также является увеличение в структуре  $t_b$  перекрываемого вспомогательного времени  $t_{в.п.}$ ; должно быть соблюдено условие  $t_b < t_{в.н.}$ .

В зависимости от типа производства  $t_b$  устанавливается: в единичном и мелкосерийном производстве на типовую технологию сварки (сборки-сварки) отдельных изделий; в серийном производстве – на комплекс приемов (переход), обрабатываемую поверхность; в массовом производстве – на единицу изделия, одну операцию, в с, мин, ч.

*Время обслуживания рабочего места* определяется по нормативам или фотографии рабочего дня. Величина  $t_{обс}$  зависит прежде всего от производственных условий, систем обслуживания рабочих мест, уровня

механизации и автоматизации. В единичном и серийном производстве  $t_{\text{обс}}$  укрупненно выражается формулой

$$t_{\text{обс}} = \frac{at_{\text{опер}}}{100}. \quad (39)$$

В массовом и крупносерийном производстве определяют время технического  $t_{\text{обс. тех}}$  и организационного обслуживания  $t_{\text{обс. орг}}$  рабочего места по формулам:

$$t_{\text{обс.тех}} = \frac{bt_0}{100}; \quad (40)$$

$$t_{\text{обс.орг}} = \frac{vt_{\text{опер}}}{100}, \quad (41)$$

где а, б, в – соответственно проценты, которые составляют время обслуживания рабочего места от  $t_{\text{опер}}$ , время технического его обслуживания от  $t_0$  и организационного от  $t_{\text{опер}}$ .

При определении указанного времени необходимо выделять перекрываемое  $t_{\text{обс.п}}$ , и неперекрываемое время  $t_{\text{обс.н}}$ , так как в норму времени включается только  $t_{\text{обс.н}}$ .

*Время на отдых и личные надобности (регламентированные перерывы)* укрупненно определяют в процентах от  $t_{\text{опер}}$ , причем время на личные надобности предусматривается нормативами в размере 20 % от  $t_{\text{опер}}$  или 10 мин на рабочую смену (табл. 6.1). В основу нормирования времени на отдых должна быть положена разработанная НИИ труда методика, согласно которой на работоспособность влияют следующие факторы: физические усилия, нервное напряжение, темп работы, рабочее положение, монотонность работы, температура, влажность, тепловое излучение в рабочей зоне, загрязненность воздуха, производственный шум, вибрация, толчки, освещение. По каждому из перечисленных и других факторов установлено время на отдых в процентах от  $t_{\text{опер}}$ .

Таблица 6.1

*Типовые режимы труда и отдыха при обеденном перерыве в середине смены*

Работа	Перерыв	Отдых
Связанная с незначительными физическими усилиями и умеренным нервным напряжением	Два перерыва по 5 мин в течение смены: через 2 ч после начала работы и за 1,5 ч до ее окончания	Производственная гимнастика 2 раза в день
Связанная со средними физическими усилиями и средним нервным напряжением	Два перерыва по 10 мин в течение смены: через 2 ч после начала работы и за 1,5 ч до ее окончания	



Окончание табл. 6.1

Работа	Перерыв	Отдых
Не требующая больших физических усилий, но неблагоприятная по монотонности, рабочей позе и темпу работы	Четыре перерыва по 5 мин в течение смены через каждые 1,5 ч работы	Производственная гимнастика 2 раза в день, остальные два перерыва для отдыха в удобной позе и при легкой разминке
Связанная с большими физическими усилиями и повышенным нервным напряжением	Три перерыва по 10 мин в течение смены	Отдых в спокойном состоянии или легкие разминочные упражнения
Требующая большого напряжения при высоком темпе и неблагоприятных условиях (загрязненность воздуха, вибрация)	Перерывы в течение каждого часа; из них первые два перерыва по 10 мин, остальные по 3...5 мин	Производственная гимнастика 2 раза в день и отдых в спокойном состоянии
Связанная с очень большими физическими усилиями в неблагоприятных условиях	Перерывы по 8... 10 мин в течение смены или три перерыва в течение смены по 15...20 мин, из них два перерыва – во второй половине смены	Отдых в спокойном состоянии в специально отведенном для этого помещении
Выполняемая в неблагоприятных условиях при высоком темпе и повышенном нервном напряжении	Перерывы по 4...5 мин в течение каждого получаса	
Требующая больших физических усилий в особо неблагоприятных условиях	Перерывы по 12... 15 мин в каждом рабочем часу	
Выполняемая при благоприятных условиях среды, но со значительным напряжением внимания	Три перерыва по 5 мин	Упражнения типа дыхательной гимнастики
Связанная со значительным умственным напряжением	Гимнастика, пятиминутные физкультурные паузы в первой и второй половинах рабочего дня	Упражнения, включающие работу всей мускулатуры

### 6.1.2. НОРМИРОВАНИЕ РУЧНОЙ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ

Расчет норм при этом виде сварки, как и других рассматриваемых ниже, начинается с определения основного времени  $t_0$  (в ч или мин), в течение которого образуется сварной шов наплавлением электродного металла

$$t_0 = \frac{Fl\gamma}{I\alpha_H} \quad (42)$$

или

$$t_0 = \frac{60Fl\gamma}{I\alpha_H}, \quad (43)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла;  $l$  – длина шва;  $\gamma$  – плотность наплавленного металла;  $I$  – сварочный ток;  $\alpha_H$  – коэффициент наплавки.

Массу наплавленного металла  $G$  определяют по формуле

$$G = \alpha_H It, \quad (44)$$

где  $t$  – время горения дуги.

Площадь поперечного сечения наплавленного металла  $F$  может быть определена разделением его на простые геометрические фигуры и подсчетом их площадей, а также по таблицам нормативов времени на сварку. Плотность наплавленного металла шва  $\gamma$  принимается равной плотности основного металла.

Силу тока  $I$  при ручной дуговой сварке устанавливают в соответствии с маркой и диаметром электрода, толщиной металла, видом шва и положением его при сварке. Коэффициент наплавки  $\alpha_H$  [г/(А·ч)] – это масса металла в граммах, наплавленного за 1 ч горения дуги, отнесенная к силе тока на 1 А. На величину  $\alpha_H$  влияют род сварочного тока, его полярность и плотность, свойства электродной проволоки и покрытий электрода и марки флюса

$$\alpha_H = \frac{G}{It}, \quad (45)$$

Влияние указанных выше факторов на  $\alpha_H$  характеризуют в общем виде данные таблице 6.2.

Основное время (в мин) на сварку шва длиной 1 м за один проход

$$t_0 = \frac{60\gamma F}{I\alpha_H}. \quad (46)$$

При многопроходной сварке основное время (в мин) на 1 м длины шва определяется, соответственно, по формуле

$$t_0 = 60\gamma \frac{F_1}{I_1\alpha_{H1}} + \frac{F_2}{I_2\alpha_{H2}} + \dots + \frac{F_n}{I_n\alpha_{Hn}}, \quad (47)$$

где 1, 2, ...,  $n$  – число проходов (слоев).

Таблица 6.2

*Коэффициенты наплавки*

Электрод	Положение шва при сварке	Вид тока	$\alpha_n$ , г/(А·ч)
Без покрытия	Вертикальное кольцевое и нижнее	Постоянный	10
		Переменный	8,2
С меловым покрытием	Горизонтальное и потолочное	Постоянный	5,6
		Переменный	6,2

Правильный и рациональный режим сварки предопределяется прежде всего типом и диаметром электрода, величиной сварочного тока. Диаметр электрода подбирают по толщине металла свариваемых элементов (табл. 6.3) и форме сечения сварного шва, а тип электродов по данным их паспорта и изготовителя.

Таблица 6.3

*Ориентировочные соотношения между толщиной и диаметром электрода*

Толщина, мм	1...2	3...5	4...10	12...24	30...60
Диаметр, мм	2...3	3...4	4...5	5...6	6...7

При толщине свариваемых элементов  $> 6$  мм швы выполняют многопроходной сваркой.

Вспомогательное время при сварке конструкций тратится:

- на смену электродов  $t_3$ ;
- зачистку швов и кромок  $t_3$  (определяют по приведенным ниже формулам);
- очистку швов от шлака и брызг расплавленного металла;
- измерение и клеймение швов;
- установку, повороты, закрепление и снятие сварных конструкций;
- перемещение сварщика с инструментами и т.д.

$$t_3 = \frac{t_{\text{эл}} F}{V_{\text{эф}}}, \quad (48)$$

где  $t_3$  – время на смену одного электрода;  $V_{\text{эф}}$  – эффективный объем одного электрода.

$$t_3 = l[0,6 + 1,2(n_c - 1)], \quad (49)$$

где  $l$  – длина шва;  $n_c$  – число слоев при многопроходной сварке.

Время на очистку промежуточного слоя 1...2 мин на 1 м длины шва, время на очистку 1 м длины шва последнего слоя 0,6 мин. Время на установку клейма принимается равным 0,03 мин на один знак. Время на измерение и осмотр шва определяется умножением длины его на 0,35

для нижнего, вертикального и горизонтального швов и на 0,5 для потолочного шва. Время на обслуживание рабочего места  $\sim 3...5$  % оперативного времени  $t_{\text{опер.}}$ . Время на отдых и личные надобности может быть принято в размере  $5...15$  %  $t_{\text{опер.}}$ . Подготовительно-заключительное время в серийном производстве  $\sim 2...4$  %  $t_{\text{опер.}}$ . В единичном производстве для определения этого времени можно воспользоваться данными таблицы 6.4.

Таблица 6.4

*Нормативы подготовительно-заключительного времени при сварке на сборочной площадке, мин*

Элемент работы	Подготовка к сварке		
	простая	средняя	сложная
Получение производственного задания и инструктажа	5	7	12
Ознакомление с работой	3	5	8
Подготовка приспособлений	-	3	5
Сдача работы	2	2	2
Всего	10	17	27

Нормы штучного времени на ручную электросварку 1 м длины шва рассчитывают по формуле

$$t_{\text{шт}} = [(t_0 + t_{\text{шт}})l + t_{\text{БК}}]k, \quad (50)$$

где  $t_{\text{всп}}$  – вспомогательное время, связанное со сварным швом;  $t_{\text{БК}}$  – вспомогательное время, связанное со сваркой конструкций и зависящее от типа оборудования;  $k$  – коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности.

### **6.1.3. НОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ СВАРКИ ПОД ФЛЮСОМ**

Основное время при данном виде сварки определяется по формулам, приведенным в разделе 6.1.2.

Основное время при сварке однопроводных швов с заданной скоростью находят по формулам:

$$t_0 = \frac{60l}{V_{\text{CB}}}; \quad (51)$$

для 1 м длины шва

$$t_0 = 60 \left( \frac{1}{V_{\text{CB1}}} + \frac{1}{V_{\text{CB2}}} + \dots + \frac{1}{V_{\text{CBn}}} \right), \quad (52)$$

где  $V_{\text{CB1}}, V_{\text{CB2}}, \dots, V_{\text{CBn}}$  – скорость сварки соответственно при 1, 2, ...,  $n$  проходах.

В таблицах 6.5 и 6.6 приведено основное время, затрачиваемое на механизированную сварку таврового соединения и на автоматическую

сварку V-образных швов стыкового соединения.

Таблица 6.5

*Основное время на механизированную сварку под флюсом швов таврового соединения без скоса кромок (одно- и двусторонних)*

Катет шва, мм	Число проходов	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Время на 1 м длины шва, мин
3	1	1,6	220...230	24...26	40	1,5
4			280...290	26...28	30	2
3...4		2	280...320	28...30	50...60	1
5...6			300...340	30...32	25...30	2
7			340...380		20...25	2,4
8...10			380...420		18...20	3
12				2	32...34	20...25
Примечание. Сварку ведут на постоянном токе обратной полярности.						

Таблица 6.6

*Основное время на автоматическую сварку стыковых соединений V-образных со скосом двух двусторонних кромок*

Толщина металла, мм	Число проходов	Диаметр электрода, мм	Сила тока, А	Напряжение дуги, В	Скорость сварки, м/ч	Время на 1 м длины шва, мин
5	1	3	440...450	32...34	50...60	1
6...8		4...5	550...600		35...40	1,5
10...14		4	700...990	36...38		

Вспомогательное время при автоматической сварке нормируется, как и при ручной дуговой, с использованием нормативов или данных хронометражных наблюдений. Однако структура  $t_{\text{в}}$  имеет определенные отличия. Они обусловлены зависимостью  $t_{\text{в}}$  от сварного шва  $t_{\text{в.ш}}$ , сложности сварных конструкций и типа оборудования  $t_{\text{в.к}}$  и будут

$$t_{\text{в}} = t_{\text{в.ш}} + t_{\text{в.к}}. \quad (53)$$

Время  $t_{\text{в.ш}}$  расходуемое на осмотр и зачистку свариваемых кромок (табл. 6.7), насыпку флюса в бункер полуавтомата, сбор флюса, зачистку швов от шлака, их осмотр, измерение и т.д.

В зависимости от толщины свариваемого металла, вида соединений и сварных швов  $t_{\text{в.ш}}$  может колебаться в широком диапазоне (1,5...25 мин на 1 м длины шва при изменении толщины металла от 3 до 50 мм).

Вспомогательное время  $t_{\text{в.к}}$  предназначается:

- для установки головки полуавтомата в начале шва;

- перемещения сварщика с полуавтоматом и инструментом (от шва к шву);
- установки, закрепления, поворота и снятия конструкций;
- клеймения шва, заправки кассет ( $t_{з.к}$ ) и т.д. (табл. 6.8–6.10).

Время на заправку кассет  $t_{з.к}$  определяют по формуле

$$t_{з.к} = \frac{t_{0.3} G_H}{G_{пр}}, \quad (54)$$

где  $t_{0.3}$  – время на одну заправку кассеты;  $G_H$  – масса 1 м длины шва;  $G_{пр}$  – масса электродной проволоки, заправляемой в одну кассету.

Время обслуживания рабочего места  $t_{обс}$  складывается из времени:

- на регулирование заданного режима;
- включение и выключение оборудования и механизмов;
- раскладку и уборку инструмента;
- установку и смену кассеты с электродной проволокой;
- засыпку флюса в начале смены и удаление его после окончания работы;
- промывку и продувку рукава при механизированной сварке;
- уборку рабочего места и т.д.

Таблица 6.7

*Время на зачистку 1 м длины свариваемых кромок перед сваркой, мин.*

Толщина металла, мм	Стыковой, угловой, тавровый швы	
	без скоса кромок	со скосом кромок
До 20	0,3	0,4
До 30	0,4	0,5
>30	0,5	0,6

Таблица 6.8

*Вспомогательное время  $t_{в.к}$  на установку в приспособление или на рабочее место конструкций, поворот и снятие их краном*

Масса конструкции, кг, до	Установка или поворот				Снятие и транспортировка			
	Длина конструкции, м, до							
	4	6	8	10	4	6	8	10
100	1,7	1,9	2,0	2,1...2,2	1,2	1,3	1,5	1,6...1,7
200	1,9	2,0	2,2	2,3...2,4	1,4	1,6	1,8	2,2...2,0
300	2,0	2,1	2,3	2,4...2,5	1,6	1,8	2,0	1,1...2,2
500	2,3	2,5	2,6	2,8...2,9	1,9	2,1	2,3	2,4...2,5

Таблица 6.9

*Время  $t_{в.ш}$  на механизированную электросварку под флюсом  
1 м длины шва, мин.*

Вид работы	Шов многопроходной сварки	Шов однопроводной и завершающий проход многопроходной сварки		
		стыковой	Угловой	
			сплошной	точечный
Сбор флюса со шва, засыпка его во флюсосборник	0,3	0,3	0,3	0,2
Очистка шва от шлака	1	0,2	0,35	0,3
Осмотр и измерение шва	0,1	0,1	0,2	0,1
Удаление остатка проволоки полуавтомата и ее подача в головку, смена кассеты			0,1	

Таблица 6.10

*Время на одно перемещение сварщика с инструментом*

Расстояние перемещения, м, не более	Время на одно перемещение, мин.	Расстояние перемещения, м, не более	Время на одно перемещение, мин.
2	0,3	8	0,75
4	0,4	10	0,9
6	0,6	12	1,1

Время на отдых и личные надобности рассчитывают с использованием нормативов, приведенных в таблицах 6.11 и 6.12.

Нормативы для определения подготовительно-заключительного времени даны в таблице 6.13.

Подготовительно-заключительное время для простых и сложных работ может быть определено соответственно в размере 2...6 % от оперативного времени.

Норма штучного времени на сварку 1 м длины шва определяется для рассмотренных видов сварки по формуле

$$t_{ш} = [(t_0 + t_{в.ш})l + t_{в.к}]k, \quad (55)$$

где  $t_{в.ш}$  – вспомогательное время, связанное со сварным швом;  $t_{в.к}$  – вспомогательное время, связанное со сваркой конструкций и зависящее от типа оборудования;  $k$  – коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности.

Таблица 6.11

*Время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности при автоматической сварке в удобном положении*

Оборудование	Время		Коэффициент к оперативному времени
	на обслуживание рабочего места	на отдых и личные надобности	
	% от оперативного времени		
Стационарные установки	5	4	1,09
Переносные автоматы	6	5	1,11
Разного назначения	8; 9	10; 12	1,18; 1,21

Таблица 6.12

*Время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности при механизированной сварке*

Условия выполнения	Время		Коэффициент к оперативному времени
	на обслуживание рабочего места	на отдых и личные надобности	
	% от оперативного времени		
1	2	3	4
В удобном положении	7	6	1,13
В неудобном положении	9	11	1,2
В закрытых свободных или полукрытых тесных емкостях	12	18	1,3
Сварка конструкций с использованием переносных лестниц высотой >3 м	15	20	1,35
1	2	3	4
Сварка крупногабаритных, объемных и полубъемных конструкций с помощью кондукторов и катодатлей	18	27	1,25

Таблица 6.13

*Укрупненные нормативы подготовительно-заключительного времени*

Вид работы	Работа, мин		
	простая <sup>1</sup>	средней сложности <sup>2</sup>	сложная <sup>3</sup>
1	2	3	4
Получение производственного задания	3		
Получение инструктажа и указаний	3	4	6
Ознакомление с работой, технологией, чертежами	3	4	6
Подготовка приспособлений	-	3	5



Окончание табл. 6.13

1	2	3	4
Установка кассет с проволокой, засыпка флюса в бункер	6		
Выбор режима сварки: - силы тока	2,8		
- скорости сварки и подачи проволоки: перестановкой сменных шестерней	9		
изменением положения рукоятки	0,2		
заменой подающего ролика	1,3		
заменой ходовых бегунов	5,5		
Сдача и оформление работ	3	4	5
<sup>1</sup> Сварка и наплавка малоответственных конструкций в нижнем положении и в лодочку, прямолинейных швов при толщине свариваемого металла до 16 мм. <sup>2</sup> Сварка ответственных конструкций в нижнем положении и в лодочку, прямо- и криволинейных швов длиной до 4 м при толщине свариваемого металла до 40 мм, когда сващику приходится знакомиться с чертежами и технологией, подготавливать приспособление. <sup>3</sup> Сварка ответственных конструкций в различном положении при толщине свариваемого металла > 40 мм и длине шва > 4 м.			

#### 6.1.4. НОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОШЛАКОВОЙ СВАРКИ

Основное время при электрошлаковой сварке затрачивается на расплавление кромок свариваемой конструкции и присадочного материала, а также на формирование шва свариваемого соединения. Это время в мин на 1 м длины шва определяется по формуле

$$t_0 = \frac{60}{V_{\text{св}}}, \quad (56)$$

где  $V_{\text{св}}$  – скорость сварки, рассчитываемая с учетом конструктивной характеристики шва и вида электрода.

Некоторые нормативы вспомогательного времени, времени на обслуживание рабочего места, отдых, личные надобности и подготовительно-заключительного времени при этом виде сварки приведены в таблицах 6.14 – 6.15.

Таблица 6.14

Вспомогательное время на 1 м длины шва

Операции	Время, мин
1	2
Зачистка свариваемых кромок от окалины, шлака, ржавчины вручную, зубилом и щеткой	1,0

Окончание табл. 6.14

1	2
Покрытие медных подкладок огнеупорной глиной, асбестом в удобном положении	2,0
То же, но в неудобном положении	3,5
Зачистка шва от шлака, асбеста после сварки (с одной стороны) вручную зубилом и щеткой; осмотр швов	0,4
Передвижение аппарата в исходное положение для сварки прямолинейных швов сверху вниз, корректировка положения мундштука в зазоре по длине шва	1,0

Таблица 6.15

*Вспомогательное время, связанное с изделием и работой оборудования, мин*

Операции	Время, мин
1	2
Установка	
Направляющей рейки с аппаратом на изделие и снятие их после сварки	12,0
Аппарата типа А-340 на изделие, крепление и снятие его после сварки	5,0...9,0
Кассеты массой до 250 кг на стойки стенда и снятие их на полу	2,0
на балконе краном	4,5
Установка токоподвода к изделию	2,0...3,5
Установка, крепление и снятие стойки, штанги и внутреннего ползуна при сварке кольцевых швов	50,0
Установка и крепление пластинчатого электрода	8,0
То же, плавящегося мундштука в зазор с постановкой изолятора по длине шва и гибкого шланга с проволокой, снятие шланга после сварки при длине мундштука	
до 1 м	12,0
до 2 м	15,0
>2 м	20,0
Зарядка аппарата (мундштука) электродной проволокой, поперечная корректировка мундштука по зазору	2,5
Установка концевика возвратно-поступательного движения по зазору	2,2
Установка и крепление медных подкладок для сварки прямолинейных швов, подключение к ним шлангов с охлаждающей водой, снятие их после сварки при длине подкладки	
до 1 м	5,0
до 3 м (из двух частей)	8,0

1	2
Установка кармана и двух выходных планок, прихватка их, покрытие глиной и засыпка флюсом с металлической стружкой перед сваркой	7,5
Установка ползуна на подвеску, поджатие его к изделию, покрытие глиной, снятие ползуна после сварки	2,5
Определение схемы работы установки в соответствии с инструкцией	7,0

Скорость сварки плавящимся мундштуком (пластинчато-проволочными электродами) будет

$$V_{\text{п.эл}} = \frac{7,06 n_{\text{эл}} V_{\text{эл}}}{F_{\text{эл}}}, \quad (57)$$

где  $F_{\text{эл}}$  – площадь поперечного сечения шва, наплавляемая электродной проволокой, мм<sup>2</sup> ( $F_{\text{об}}$  – общая площадь поперечного сечения наплавленного металла шва, мм<sup>2</sup>;  $F_{\text{п.т}}$  – площадь поперечного шва, наплавленная пластинчатыми и трубчатыми электродами, мм<sup>2</sup>).

#### 6.1.5. НОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

Нормирование этого вида сварки начинается также с определения основного времени, затрачиваемого на разогрев металла и наплавление шва. В связи с этим  $t_0$  включает в себя время непосредственно на сварку и время на разогрев свариваемых кромок в начале сварки (табл. 6.16 и 6.17).

Основное время сварки на 1 м длины шва  $t_{0.\text{ш}}$  рассчитывают по формуле

$$t_{0.\text{ш}} = t_{\text{н}} F, \quad (58)$$

где  $t_{\text{н}}$  – время наплавки 1 см<sup>3</sup> металла (табл. 6.16);  $F$  – площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>.

Следовательно, основное время сварки шва определенной длины может быть рассчитано по формуле

$$t_0 = t_{0.\text{ш}} l + t_{0.\text{р}} (n - 1), \quad (59)$$

где  $l$  – длина свариваемого шва, м;  $t_{0.\text{р}}$  – время на один разогрев свариваемых кромок, мин;  $n$  – число свариваемых швов на конструкции.

Вспомогательное время при сварке швов затрачивается на смену присадочной проволоки, приварку прутка к огарку в процессе сварки, осмотр и очистку кромок шва, на его измерение.

Вспомогательное время при сварке конструкции идет на установку, закрепление, снятие ее, перемещение сварщика, клеймение шва. Устанавливают вспомогательное время по таблицам нормативов в зависимости от вида стыковых соединений и массы конструкции.

Таблица 6.16

*Время наплавки 1 см металла ацетиленокислородным пламенем*

Толщина свариваемой детали, мм	Номер наконечника	Время наплавки 1 см <sup>3</sup> , мин	Толщина свариваемой детали, мм	Номер наконечника	Время наплавки 1 см <sup>3</sup> , мин
1...1.5	1	1,3	10...12	5	0,52
2...4	2	1,1	13...18	6	0,42
5...7	3	0,73	19...30	7	0,38
7...8	4	0,62			

Таблица 6.17

*Основное время на разогрев свариваемых кромок в начале сварки*

Толщина металла, мм, не более	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
Время, мин, не более	0,1	0,14	0,18	0,25	0,33	0,4	0,47	0,55	0,6

Время на обслуживание рабочего места предназначается для раскладки инструмента в начале работы и уборки его после работы, зажигания, прочистки, тушения горелки, установки и смены баллонов, подключения и отключения рукавов, поддержания режима сварки и т.д. При укрупненных расчетах время на обслуживание рабочего места принимается в размере 10 %, а время на отдых и личные надобности – в размере 7 % оперативного времени. Подготовительно-заключительное время составляет ~2...4 % оперативного времени. Норма штучного времени определяется суммированием перечисленных выше затрат времени

$$t_{шт} = [(t_0 + t_{в.ш}) l_{ш} + t_{о.р} n + t_{в.к}] k, \quad (60)$$

где  $t_{в.ш}$  – вспомогательное время на сварку шва;  $l_{ш}$  – длина шва;  $t_{в.к}$  – вспомогательное время на сварку конструкции;  $k$  – коэффициент, учитывающий затраты времени на обслуживание рабочего места, перерывы на отдых и личные надобности ( $k = 1,11... 1,24$ ).

#### 6.1.6. НОРМИРОВАНИЕ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ

Норма штучного времени на контактную сварку (точечную, шовную, стыковую) включает в себя основное и вспомогательное время, время на обслуживание рабочего места, на отдых и личные надобности. Основное время  $t_0$  зависит от продолжительности прямого и обратного хода электрода. Оно состоит из времени на опускание и сближение электродов, их сжатие, протекание тока, выдержку электрода при повышенном давлении и возвращение электрода в исходное положение. Основное время определяется по формулам, приведенным ниже или по

таблицам нормативов, разработанным для отдельных видов контактной сварки (табл. 6.18, 6.19).

Основное время шовной сварки, мин

$$t_{\text{о.ш}} = \frac{l_{\text{ш}}}{V_{\text{св}}}, \quad (61)$$

где  $l_{\text{ш}}$  – длина шва;  $V_{\text{св}}$  – скорость сварки.

Основное время стыковой сварки, мин

$$t_{\text{о.с}} = \frac{1}{n} + t_{\text{в.к}}, \quad (62)$$

где  $n$  – число рабочих ходов электродов в минуту;  $t_{\text{в.к}}$  – время включения рабочего хода.

Таблица 6.18

*Основное время точечной сварки на машинах автоматического и неавтоматического управления*

Число ходов в минуту	Время на одну точку или ход, мин	Число ходов в минуту	Время на одну точку или ход, мин
10	0,1	50	0,02
12	0,084	60	0,017
14	0,072	72	0,014
17	0,059	86	0,011
20	0,05	100	0,01
24	0,042	120	0,0082
29	0,035	140	0,0071
35	0,029	170	0,0059
42	0,024	200	0,005

Основное время точечной сварки, мин

$$t_{\text{о.т}} = \frac{1}{n} + \frac{t_{\text{в.к}}}{m}, \quad (63)$$

где  $m$  – число свариваемых точек за одно включение машины.

Вспомогательное время при контактной сварке рассчитано на установку и снятие элементов конструкции, закрепление, открепление, повороты и перемещение их на шаг, на зачистку электрода при сварке алюминиевых сплавов и коррозионно-стойких сталей.

В массовом производстве вспомогательное время может быть определено по нормативам, приведенным в таблицах 6.20–6.22.

Время обслуживания рабочего места определяется по данным фотографии рабочего дня, установленным нормативам и в виде укрупненных коэффициентов к оперативному времени (табл. 6.23).

Таблица 6.19

*Основное время, мин, стыковой сварки (на один стык)  
оплавлением низкоуглеродистой стали*

Площадь сечения стыка, мм <sup>2</sup>	Номинальная мощность машины, кВт·А	Сварка деталей			
		с подогревом		без подогрева	
		сплошного сечения	с развитым периметром	сплошного сечения	с развитым периметром
1	2	3	4	5	6
30	10	0,05	не применяется	-	не применяется
50		0,06		0,16	
80		0,08		0,18	
120	30	0,1		0,2	
150		0,12		0,23	
200		0,15		0,25	
250	60	0,17		0,28	
300		0,19	0,13	0,31	0,21
400		0,21	0,14	0,34	0,22
500	100	0,25	0,17	0,4	0,29
600		0,28	0,2	0,46	0,34
700		0,31	0,22	0,52	0,38
800		0,34	0,24	0,28	0,46
1000	250	0,39	0,28	0,72	0,53
1200		-	0,34	-	0,6
2000		-	-	-	0,68

Таблица 6.20

*Вспомогательное время, мин, на установку детали на стол,  
в приспособление или кондуктор при точечной и шовной сварке*

Масса детали, кг, не более	Способ установки				
	свободно, без фиксации	с выверкой по одной плоскости	с выверкой по двум плоскостям	по контуру, риске	по штырю
2	0,043	0,073	0,12	0,047	0,063
3	0,048	0,08	0,13	0,052	0,069
5	0,053	0,088	0,14	0,057	0,076
7	0,058	0,097	0,16	0,063	0,084
10	0,064	0,11	0,17	0,069	0,092
15	0,07	0,12	0,18	0,076	0,1

Таблица 6.21

*Время, мин, на закрепление и открепление детали при точечной, шовной и стыковой сварке*

Тип зажимного приспособления	Время на один зажим, мин
Пневматический или пневмогидравлический	0,016
Эксцентриковый	0,02
Рычажный или откидная планка	0,053

Таблица 6.22

*Вспомогательное время, мин, при стыковой сварке сплошного сечения*

Площадь свариваемого сечения, мм <sup>2</sup>	Гидравлические, пневматические, механические зажимы	Ручные рычажные винтовые зажимы
100...200	0,6	0,7...0,8
200...600	0,7	0,8...1,0
600...1000	0,75	1,0...1,2
1000...1500	0,8	1,2...1,4
1500...2500	1,0	1,4...1,7

Таблица 6.23

*Время, % от  $t_{опер}$ , на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности*

Сварка	Оборудование	Рабочая поза	Обслуживание рабочего места	Отдых и личные надобности	Коэффициент $t_{\text{опер}}$
Точечная	Стационарная машина	Сидя	4	6	1,1
	Клещи	Стоя	5	7	1,11
	Пистолет				1,12
	Шовная		Стационарная машина		4
Стыковая	Машина с пневматиче- ским управле- нием		6		1,13
	Машина с ав- томатическим управлением		7		17

На подготовительно-заключительное время  $t_{п.з.}$ , затрачиваемое на получение задания, ознакомление с работой, установку клещей, писто-

лета и их снятие, настройку машины и сдачу готовой продукции, отводится 6...10 мин на партию при выполнении работы на стационарной машине (клещах); при применении пистолета – 5 мин.

Нормы штучного времени рассчитывают для рассмотренных видов сварки по следующим формулам:

$$t_{шт.т} = (t_0 i + t_e) k ; \quad (64)$$

$$t_{шт.т} = (t_0 l + t_b) k ; \quad (65)$$

$$t_{шт.с} = (t_0 + t_b) k , \quad (66)$$

где  $i$  – число точек, свариваемых за данную операцию;  $l$  – длина свариваемого шва, м;  $t_b$  – вспомогательное время, связанное со свариваемым швом и свариваемыми изделиями;  $k$  – коэффициент, учитывающий время для обслуживания рабочего места, отдыха и личных надобностей.

#### 6.1.6. НОРМИРОВАНИЕ ГАЗОВОЙ РЕЗКИ МЕТАЛЛА

Основное время газовой резки  $t_{о.газ}$  – это время, в течение которого под действием струи кислорода и подогревательного пламени осуществляется резка металла

$$t_{о.газ} = t_{о1} l + t_{о2} n_{п} , \quad (67)$$

где  $t_{о1}$  – основное время резки 1м;  $l$  – расчетная длина реза на одну деталь;  $t_{о2}$  – основное время на один подогрев в начале реза;  $n_{п}$  – число подогревов в начале резки на одну деталь.

При этом на 1 м длины реза

$$t_{о1} = \frac{1}{V_p} , \quad (68)$$

где  $V_p$  – скорость резки, устанавливаемая по паспортным данным оборудования и аппаратуры.

Основное время непосредственно резки  $t_{о1}$  и на один подогрев металла  $t_{о2}$  может быть определено по нормативам (табл. 6.24).

Основное время, рассчитанное по таблицам нормативов, корректируется с помощью коэффициентов, учитывающих чистоту кислорода, род горючего, вид стали, класс качества поверхности реза и положение линии реза в пространстве (табл. 6.25 – 6.28).

Вспомогательное время, как и при сварке, подразделяется на время, зависящее от длины реза (время на корректировку движения резака, очистку загрязнений на металле, осмотр и проверку качества отрезаемых кромок деталей, зачистку их от шлака), и время, зависящее от изделия и типа оборудования (время на подвод суппорта с резаком к листу, установку его в исходное положение и отвод, установку и выверку копира, передвижение резчика и т.д.).



Таблица 6.24

*Основное время механизированной фигурной резки  
малоуглеродистой стали*

Толщина мм, не более	Скорость резки, мм/мин	Время на 1 м длины реза, мин	Время на один подогрев в начале резки, мин			
			от кромки листа		в замкнутом контуре	
			Используемый газ			
			Ацетилен	Городской газ	Ацетилен	Городской газ
5	645	1,55	0,095	0,15	0,23	0,37
10	585	1,71	0,12	0,19	0,28	0,45
15	515	1,94	0,135	0,22	0,34	0,54
20	490	2,04	0,145	0,23	0,39	0,62
25	455	2,2	0,155	0,25	0,44	0,7
30	435	2,3	0,17	0,27	0,48	0,77
35	410	2,44	0,18	0,29	0,52	0,83
40	390	2,56	0,30	0,3	0,58	0,93

Таблица 6.25

*Поправочные коэффициенты к основному времени газовой резки*

Чистота кислорода, %	К
99,9	0,92
99,0	1,11
99,5	1,0...1,19
99,2	1,06
98,0	1,25

Таблица 6.26

*Поправочные коэффициенты к основному времени при резке стали*

Стали	Коэффициент
Углеродистые и малолегированные, содержащие до 0,4 % С	1,1
Марганцовистые среднелегированные, содержащие ванадий и молибден (до 0,7 % С)	1,2
Хромоникелевые и высоколегированные	1,3

Таблица 6.27

*Поправочные коэффициенты к основному времени при положении  
линии реза в пространстве*

Пространственное положение	Коэффициент
Нижнее положение	1,0
Вертикальное положение	1,05
Горизонтальное	1,1

Таблица 6.28

*Нормативы вспомогательного времени, зависящие  
от изделия и оборудования*

Операция	Время, мин
Установка резака под углом	0,3
Подвод суппорта с резаком к месту, отвод, установка в исходное положение, выверка листа	3,5
Клеймение	0,1
Перевод машины от одной детали к другой	0,5
Передвижение резчика и перестановка направляющего пути переносной машины при перемене направления реза	4,0
Установка и выверка копира	0,5
Установка резака и циркуляция на заданный размер при резке по окружности	0,6

Время обслуживания рабочего места зависит от типа оборудования, условий выполнения работы и толщины разрезаемого металла; составляет при машинной резке 4...6 % и при ручной 3...12 %  $t_{\text{опер}}$ . Время перерывов на отдых и личные надобности при машинной резке занимает 5...6 % и при ручной 7...10 %  $t_{\text{опер}}$ .

При укрупненных расчетах подготовительно-заключительное время принимают в размере 2...6 % от  $t_{\text{опер}}$  (табл. 6.29)

Таблица 6.29

*Подготовительно-заключительное время по элементам работ  
при газовой резке металла*

Операция	Время, мин
1	2
Получение задания и инструктажа	3,0
Ознакомление с работой	2,0
Получение и сдача инструмента	2,0

Окончание табл. 6.29

1	2
Установка и снятие копира, шаблона при машинной резке	5,2
Установка и снятие циркуля	1,0
Подключение рукавов к резаку, магистрали, баллонам и отключение их	3...5
Установка давления газов	0,8
скорости резки	0,2
Подготовка к работе резака	0,8
керосинореza	1,5
Установка и снятие катков к резаку	0,4
Сдача работы	0,4

Норма штучного времени  $t_{шт.газ}$  определяется по формулам

$$t_{шт.газ} = [(t_{o1} + t_{в.р}l) + t_{o2}n + t_{в.и.о}]k, \quad (69)$$

$$t_{шт.газ} = [t_{o1}k_{п} + t_{в.р}l + t_{o2} + t_{в.н}]k, \quad (70)$$

где  $t_{в.р}$  – вспомогательное время на 1 м реза, зависящее от длины реза;  $t_{в.и.о}$  – вспомогательное время, связанное с конфигурацией изделия и работой оборудования;  $k$  – коэффициент, учитывающий время на обслуживание рабочего места, отдых и личные надобности;  $k_{п}$  – коэффициент, учитывающий чистоту кислорода, род горючего и вид стали;  $t_{o2}$  – основное время на подогрев металла в начале реза на одну деталь;  $t_{в.н}$  – вспомогательное время, зависящее от конфигурации изделия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геворкян В.Г. Основы сварочного дела.- М: Высш. шк., 1991 – 239 с.
2. Китаев А.М., Китаев Я. А. Справочная книга сварщика. – М.: Машиностроение, 1985. – 256 с.
3. Бубеншиков Ю.М., Федько В.Т. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учебник. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. – 190 с.
4. Потапьевский А.Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом. – М.Машиностроение, 1974. – 240 с.
5. Справочник сварщика / Под ред. В.В. Степанова. – М.: Машиностроение, 1975. – 520 с.
6. Стеклов О.И. Основы сварочного производства. – М.: Высш. шк., 1986. – 226 с.
7. Федько В.Т. Введение в специальность.- Томск: Изд. ТПИ им. С.М. Кирова, 1990. – 96 с.
8. Фоминых В.П., Яковлев А.П. Электросварка. – М.: Высш. шк., 1975. – 288 с.
9. Банов М.Д. Технология и оборудование контактной сварки: учебник для студ. учреждений сред. проф. образование/ М.Д. Банов. 2-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 224 с.
10. Чернышов Г.Г. Технология электрической сварки плавлением: учебник для студ. учреждений сред. проф. образование/ Г.Г. Чернышов. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 448 с.
11. Виноградов В.С. Оборудование и технология дуговой автоматической и механизированной сварки: Учеб для проф. Учеб. заведений. – 4-е изд., стереотип. – М.: Высш. шк.: Изд. центр «Академия», 2001. – 319 с.: ил.
12. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: Учебник для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. / А.И. Акулов, В.П. Алехин. С.И. Ермаков и др. / под ред. А.И. Акулова. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.: ил.
13. Хромченко Ф.А. Справочное пособие электросварщика. – М.: Машиностроение, 2003. – 416 с.: ил.
14. Теория сварочных процессов: Учеб. для вузов по спец. «Оборуд. и технология сварочн. пр-ва» / В.Н. Волченко, В.М. Ямпольский, В.А. Винокуров и др. / под ред. В.В. Фролова. – М.: Высш. шк., 1988. – 559 с.: ил.

15. Сварка. Резка. Контроль: Справочник: В 2-х томах. / под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. – Т.1 / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, Э.А. Гладков и др. – 624 с.: ил.
16. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах / под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – М.: Машиностроение, 2004. – Т.2 / Н.П. Алешин, Г.Г. Чернышов, А.И. Акулова и др. – 480 с.: ил.
17. Бубенчиков Ю.М., Федько В.Т. Сварные конструкции. Расчет и проектирование: учебник. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2001. – 190 с.
18. Дефекты сварных соединений: учеб. пособие / В.В. Овчинников. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 64 с.
19. Ковалев Г.Д., Федько В.Т. Технологическая прочность и свариваемость металлов. Конспект лекций. Томск / Изд. ТПИ им. С.М. Кирова, 1991. – 59 с.
20. Фролов, В.В. Теория сварочных процессов [Текст]/В.В. Фролов// М.:Высш. шк. 1988. – 559 с.
21. Рыкалин, Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке [Текст]/Н.Н. Рыкалин// Москва 1951. – 291 с.
22. Березовский, Б.М. Математические модели дуговой сварки: В 7 т. Том. 4. Основы тепловых процессов в свариваемых изделиях [Текст]/ Б.М. Березовский// Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. – 547 с.
23. Теория сварочных процессов: Учебник для вузов / под ред. В.М. Неровного. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. – 752с.: ил.
24. Чинахов Д.А., Давыдов А.А., Нестерук Д.А. «Методика обработки температурных полей при сварке плавлением» сборник трудов Международной научной конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Воробьева «Становление и развитие научных исследований в высшей школе»: – Том 2/ Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 462с.
25. Павлов Н.В., Чинахов Д.А. Ильященко Д.П. Сравнительный анализ расчетных значений распределения температур при сварке с экспериментальными // Горное машиностроение: Труды VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала) Mining Informational and analitical Bulletin (scientific and technical journal). – 2010. – № ОВЗ. – 464 с. – М.: издательство «Горная книга». – С. 433 – 439.

26. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007612644 (РФ). Автоматизированный расчет формы шва и распределения тепла в сварном соединении при сварке плавлением [Текст]/ Д.А. Чинахов, Е.П. Агренич// Бюл. «Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем». 2007.
27. Макаров И.В. Сварочный трансформатор или инвертор. Что дороже? // Сварщик профессионал. – 2006. – №5. – С. 23.
28. [www.perytone.ru](http://www.perytone.ru).
29. Брунов О.Г. Механизированная сварка в среде активных газов с импульсной подачей сварочной проволоки: научное издание – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007. – 137 с.
30. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга. М., «Машиностроение», 1970. – 335 с.
31. Федько В. Теория, технология и средства снижения набрызгивания и трудоемкости при сварке в углекислом газе. Томск: Томский государственный университет, 1998. – 432с.
32. Ильященко Д.П., Зернин Е.А. Величина потерь на разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами с использованием различных источников питания // Новые промышленные технологии. – 2009. – №4. – С. 50–52.
33. Ильященко, Д.П. Определение потерь на разбрызгивание металла при использовании различных источников питания [Текст]/ Д.П. Ильященко, Е.А. Зернин// Сварочное производство. – 2009. – №6. С. 36–40.
34. Ильященко, Д.П. Разбрызгивание при ручной дуговой сварке покрытыми электродами и способы его снижения [Текст]/ Д.П. Ильященко, С.Б. Сапожков// Сварочное производство. 2007. – № 12. – С. 28 – 31.
35. Ильященко, Д.П. Величина набрызгивания при РДС плавящимся электродом и методы ее снижения [Текст] /Д.П. Ильященко, С.Б. Сапожков// Новые промышленные технологии. – 2009. – №5. – С. 25–28.
36. Ильященко, Д.П. Источник питания как энерго и ресурсосберегающий фактор в сварочном производстве [Текст] /Д.П. Ильященко, Д. А. Чинахов// Новые промышленные технологии. – 2010. – №3. – С. 40–42.

Учебное издание

ТОМАС Константин Иосипович  
ИЛЬЯЩЕНКО Дмитрий Павлович

## ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Учебное пособие

Научный редактор  
кандидат технических  
наук

Редактор  
Компьютерная верстка  
Дизайн обложки


*О.Г. Брунов  
Л.А. Холопова  
Ю.В. Сотокина  
Д.П. Ильященко*

Подписано к печати 20.09.10. Формат 60х84/8. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл.печ.л. 14,35. Уч.-изд.л. 13,0.  
Заказ 1254. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована  
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.  
тел/факс (83822)56-35-35 [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)