

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В пособие приводятся основные сведения о видах сварки, сварочных материалах, сварных швах и сварных соединениях, применяемых в строительстве. Рассматриваются технические критерии оценки видов сварки, сварочных материалов и сварочного оборудования при изготовлении и монтаже металлических конструкций. Описаны и проанализированы современные методы сварки строительных металлических конструкций.

Основные цели учебного пособия – формирование у студентов обобщенной системы знаний об особенностях одного из наиболее распространенных технологических процессов при изготовлении строительных металлических конструкций – сварки. В том числе ознакомить студентов с ниже перечисленными разделами сварочной науки и техники:

- сущностью сварки, как процесса образования межатомной связи металлов;
- основами технологических процессов сварки металлических строительных конструкций, механизацией, автоматизацией и роботизацией сварочных работ в строительстве.
- сварочными материалами применяемых при сварке строительных металлических конструкций;
- основными требованиями техники безопасности при выполнении сварочных работ;
- видами сварки технологией и оборудованием;
- видами сварных швов и сварных соединений;
- основными методами контроля качества сварных соединений, обеспечивающих эксплуатационную надежность и долговечность строительных конструкций;
- расчетом сварных соединений и узлов металлических строительных конструкций;
- образованием и развитием сварочных напряжений и деформаций в строительных металлических конструкциях и влиянием их на работоспособность и точность конструкций, а также мероприятиями по их уменьшению;

- свариваемостью строительных сталей и причинами образования холодных и горячих трещин в сварных соединениях;
- технологическим процессом изготовления сварных строительных металлических конструкций.

Основные задачи изучения раздела:

- формирование и развитие инженерного мышления в области сварки как основного технологического процесса при изготовлении и монтаже строительных металлических конструкций;
- знание основных современных видов и способов сварки металлических строительных конструкций;
- овладение принципами правильного выбора вида и режима сварки, сварочных материалов, сварочного оборудования, сборочно-сварочной оснастки;
- овладение принципами правильного выбора методов контроля качества сварных соединений, обеспечивающих эксплуатационную надежность и долговечность строительных металлических конструкций;
- знание основ теории образования сварочных напряжений и деформаций и овладение принципами правильного выбора мероприятий по их уменьшению;
- знание расчета сварных соединений металлических конструкций;
- овладение принципами проектирования технологии сборки-сварки строительных конструкций;
- знание основных требований техники безопасности при проведении сварочных работ.

# 1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ

Сварка является ведущим технологическим процессом при изготовлении и монтаже строительных конструкций.

Сварка-это технологический процесс получения неразъёмных соединений металлических элементов конструкций при нагревании или пластическом деформировании. Соединения при сварке осуществляют за счет установления межатомных связей между свариваемыми частицами металла.

Сварка является высокопроизводительным технологическим процессом, благодаря своей простоте находит широкое применение в строительстве. Сварка является экономически выгодным процессом. например, при замене клепаных или болтовых конструкций на сварные соединения экономия металлов составляет 20-25%, а при замене литых деталей сварными – около 50%.

## 1.1. Исторический очерк развития сварочного производства

Возникновение первых простейших методов сварки относится к началу освоения человеком металлов. Первоначально металл ковали каменными орудиями, и путем проковки кусочков металла удавалось соединить их в более крупные куски. Так возникла кузнечная сварка. Для обеспечения соединения подогревали металл, зачищали соединяемые поверхности и наносили на них флюсующие вещества.

В дальнейшем появилась литейная сварка, при которой соединяемые детали помещали в форму, а место соединения заливали жидким металлом. Позднее стали добывать легкоплавкие металлы, при использовании которых появился более удобный и производительный метод пайки. Кузнечная сварка и пайка были ведущими процессами вплоть до второй половины XIX в.

Большое значение для развития сварочной техники имело изобретение новых источников нагрева. Они обеспечивали концентрированный нагрев зоны сварки, что позволило модернизировать существующие способы. Литейная сварка была заменена сваркой плавлением, при которой шов формируется из сварочной ванны, образуемой при мгновенном местном расплавлении металла.

Мысль о возможности применения “электрических искр” для плавления металлов впервые высказал в 1753 г. академик Российской Академии наук Г.Р.Рихман, выполнивший ряд исследований атмосферного электричества. На практике эта мысль была проверена итальянским ученым А.Вольта с помощью гальванического элемента (вольтова столба). В 1802 г. профессор Санкт Петербургской военно-хирургической академии В.В.Петров, используя мощный гальванический элемент, открыл явление электрической дуги. Он также указал возможные области ее применения. Независимо от В.В.Петрова, но несколько позже (1809 г.), электрическую дугу получил английский физик Г.Деви.

Для практического осуществления электрической сварки потребовались многие годы совместных усилий ученых и техников, направленные на создание электрических генераторов.

Первые электромагнитные генераторы созданы лишь в 70-х годах XIX века. До этого были отдельные попытки осуществления электрической сварки металлов с помощью гальванических элементов. Так в 1849 г. американец К. Стет получил английский патент на соединение металлов с помощью электричества. Однако этот патент не был реализован на практике.

И только спустя 80 лет русские инженеры Н.Н. Бенардос и Н.Г.Славянов, используя явление электрической дуги, разработали промышленные способы электрической сварки металлов.

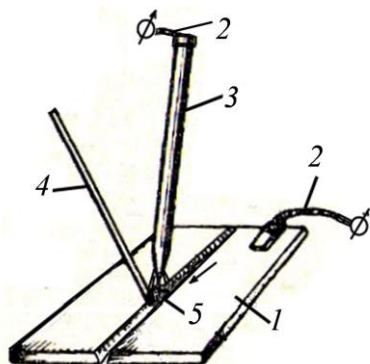
В 1881 г. русский изобретатель Н.Н. Бенардос предложил способ прочного соединения металлов непосредственным действием электрического тока и на практике осуществил *сварку и резку металлов электрической дугой с помощью угольного электрода* (рис.1.1). Ему также принадлежит много других важных изобретений в области сварки (спирально-шовные трубы, порошковая проволока и др.).

Сущность способа сварки, предложенной Н.Н. Бенардосом, заключалась в следующем:

- к свариваемому металлу он присоединил один полюс динамо-машины, а к угольному электроду другой;
- между электродом и свариваемым металлом возникала электрическая дуга;
- в электрическую дугу он вводил металлический присадочный пруток;

– присадочный пруток, расплавлялся и заполнял зазор, образовывая сварной шов.

Однако сварной шов не был защищен от кислорода воздуха и получался низкого качества.



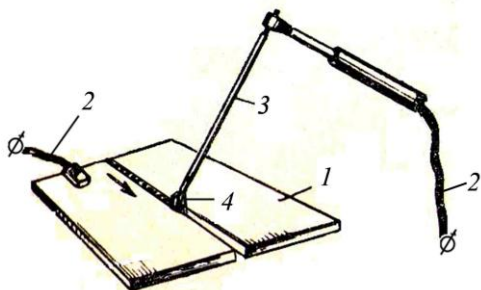
*Рис.1.1. Дуговая сварка угольным электродом (способ Н.Н.Бенардоса):  
1– свариваемый металл; 2– электрический провод;  
3– угольный электрод; 4– присадочный пруток; 5– электрическая дуга*

В дальнейшем Н.Н. Бенардосом было разработано много других важных изобретений в области сварки (контактная сварка с помощью клещей, сварка в среде защитного газа и др.), но они не нашли должного применения.

Электрическая дуговая сварка получила дальнейшее развитие в работах Н.Г.Славянова В 1888 г. Н.Г. Славянов изобрел *электродуговую сварку плавящимся металлическим электродом*. В отличие от способа, предложенного Н.Н. Бенардосом, он заменил угольный электрод плавящимся металлическим (рис.1.2).

Сущность способа, изобретенного Н.Г. Славяновым, заключалась в следующем:

- к свариваемому металлу он присоединил один полюс динамо-машины, а к металлическому электроду другой;
- электрическая дуга, возникла между металлическим электродом и свариваемым металлом;
- металлический электрод, расплавляясь в электрической дуге, заполнял зазор и образовывал сварной шов.



*Рис.1.2. Дуговая сварка металлическим электродом  
(способ Н.Г.Славянова):*

*1– свариваемый металл; 2– электрический провод;  
3– металлический электрод; 4– электрическая дуга*

Также как и в способе сварки, предложенном Н.Н.Бенардосом, сварной шов не был защищен от кислорода воздуха и получался низкого качества. Однако, Н.Г. Славянов пытался защитить металл шва дробленым стеклом и тем самым указал на возможность сварки под флюсом.

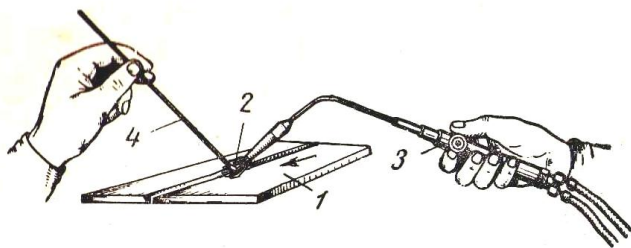
Н.Г. Славянов разработал металлургические и технологические основы электродуговой сварки плавящимся электродом, применил способы наплавки и горячей сварки чугуна, организовал первый в мире электросварочный цех.

Н.Н.Бенардос и Н.Г.Славянов положили начало автоматизации сварочных процессов, создав первые устройства для механизированной подачи электрода в дугу.

Однако, в предложенных Н.Н.Бенардосом и Н.Г.Славяновым методах сварки, металл шва формируется и остывает на открытом воздухе, вступая в реакцию с кислородом и азотом. При этом металл шва имел низкое качество, имел многочисленные дефекты – поры, шлаковые включения и др.

Дальнейшее развитие электрической дуговой сварки несколько замедлилось в связи с появлением газовой сварки кислородно-ацетиленовым пламенем. Вначале XX в. этот способ обеспечивал более высокое качество сварочных швов, чем дуговая сварка голым электродом.

В конце XIX века в связи с началом промышленного производства кислорода и ацетилена был разработан способ *газовой сварки кислородно-ацетиленовым пламенем* (рис.1.3). В качестве источников нагрева использовалось тепло пламени смеси газов, сжигаемых с помощью горелки. Пламя горелки расплавляет кромки свариваемого металла и присадочный металлический пруток, которые образуют сварочную ванну. Этот способ обеспечивал более высокое качество сварочных швов, чем дуговая сварка голым электродом и поэтому в этот период *газовая сварка* являлась основным способом сварки.



*Рис.1.3. Газовая сварка кислородно-ацетиленовым пламенем:*  
1 – свариваемый металл; 2 – пламя;  
3 – сварочная горелка; 4 – присадочный металлический пруток

Кроме ацетилена использовалось также сжигание этилена, метана и других горючих газов в струе кислорода.

Сущность способа газовой сварки кислородно-ацетиленовым пламенем, заключался в следующем (рис.1.3):

- место соединения кромок свариваемого металла и присадочный металл нагреваются теплом сварочной горелки, образовавшемся при сжигании ацетилена в смеси и кислородом;

- в месте нагрева соединения кромок свариваемого металла образуется сварочная ванна;

- в сварочную ванну добавляется расплавленный металл присадочного прутка для образования металла шва.

Газовую сварку широко применяют в настоящее время во многих отраслях промышленности при сварке цветных металлов, при сварке изделий из тонколистовой стали и др.

*Газовую сварку* классифицируют по виду применяемого газа:

- ацетилено-кислородная;

- керосино-кислородная;
- бензино-кислородная
- пропанобутаново-кислородная;
- водородо-кислородная и др.

Положение изменилось, когда в 1907 г. шведский инженер О.Квальберг применил металлические электроды с нанесенным на их поверхность покрытием. Это покрытие предохраняло металл шва от вредного воздействия воздуха (окисление и озонирование) и стабилизировало горение дуги. Применение покрытых электродов обеспечило резкое повышение качества сварных соединений. *Ручная электродуговая сварка* плавящимся электродом начала широко применяться на заводах США, Англии и других стран.

К началу XX века в огромных масштабах возросло производство металла, в особенности стали, увеличилось и количество способов сварки. Особенно широкое применение имела электрическая дуговая сварка. В конце первой четверти XX века ручная дуговая сварка плавящимся электродом стала основным способом сварки в нашей стране и во всем мире.

Дуговая сварка в нашей стране начала развиваться на базе простейшей аппаратуры, созданной собственными полукустарными средствами, и небольшого количества импортных машин. Но уже в 1932 г. в Ленинграде вступил в строй завод электросварочного оборудования “Электрик”. Это был самый мощный в Европе завод, выпускавший в год несколько тысяч комплектов сложной аппаратуры для дуговой и контактной электросварки, никогда ранее не изготавливавшейся в нашей стране.

Дуговая сварка была разработана для постоянного тока. Так как силовые сети дают переменный ток частотой 50 Гц, то для питания дуги создавали преобразователи переменного тока в постоянный сварочный ток. Для решения этой задачи использовали специальный сварочный генератор постоянного тока, вал которого соединялся с валом стандартного приводного мотора трехфазного переменного тока.

Многочисленные исследования, проводимые в СССР, доказали возможность качественного выполнения обычным переменным током промышленной частоты, применяя дешевый, малога-



баритный сварочный трансформатор вместо двухмашинного преобразователя.

Сварочный трансформатор стал в нашей стране основным видом оборудования для питания током дуговой сварки. Дуговая сварка на переменном токе постепенно находила широкое применение почти во всех странах мира.

Следующим шагом на пути совершенствования источников питания стало создание в 60-х годах XX века стационарных выпрямителей. Появились многочисленные конструкции простых в эксплуатации сварочных выпрямителей, объединяющих сварочный трансформатор с кремниевыми вентилями, обеспечивающими прохождение тока в одном направлении. Созданы универсальные установки, от которых можно получать как постоянный, так и переменный ток. Сварочные выпрямители становятся основными источниками питания в дуговой сварке.

Несмотря на усовершенствование системы питания дуги, сама дуговая сварка долгое время, как правило, проводилась вручную, хотя еще изобретатели дуговой сварки Н.Н.Бенардос и Н.Г.Славянов понимали необходимость механизации и автоматизации дуговой сварки.

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 Киевского института электросварки под руководством академика Е.О.Патона был разработан новый способ сварки – *автоматизированная сварка под флюсом*. Автоматическая сварка под флюсом позволяет резко повысить производительность процесса, при этом достигается высокое качество сварного соединения.

В конце 40-х годов получил промышленное применение способ дуговой сварки в защитных газах. Газ для защиты зоны сварки впервые использовал американский ученый А.Александр еще в 1928 г., но из-за сложности получения защитных газов этот способ не нашел промышленного применения. Положение изменилось лишь после того, как для защиты были использованы пригодные для массового применения газы (гелий и аргон в США, углекислый газ в нашей стране).

*Сварку в углекислом газе* впервые осуществил Н.Г.Остапенко. Затем усилиями коллективов ЦНИИТМАШа, института электро-

сварки им. Е.И.Патона и ряда промышленных предприятий был усовершенствован способ сварки в углекислом газе. Этот способ в настоящее время широко используют во многих странах мира.

Использование дешевых защитных газов, повышение производительности процесса и улучшения качества сварки позволили широко применять этот способ при механизированной и автоматизированной сварке. Объем *механизированной сварки в защитных газах* значительно превышает объем ручной сварки покрытыми электродами.

Сотрудниками института электросварки им. Е.О.Патона в содружестве с работниками заводов тяжелого машиностроения был разработан принципиально новый вид электрической сварки плавлением – *электрошлаковая сварка*. В процессе электрошлаковой сварки металл нагревается в результате пропускания тока через расплавленный шлак, что явилось значительным достижением отечественной сварочной техники. Разработка этого вида сварки позволила успешно решить важные для дальнейшего развития промышленности вопросы качественной и производительной сварки металла практически неограниченной толщины и механизации сварки вертикальных швов.

На основе электрошлакового процесса был создан новый способ рафинирования металлов, получивший название *электрошлакового переплава*.

Все шире в строительстве применяют *контактную сварку*, занимающую одно из ведущих мест в промышленности. Электрическая контактная сварка использует нагревание соединяемых деталей проходящим через них током, при этом особенно сильно разогревается зона контакта соединяемых деталей. После разогрева контакта до высокой температуры, как правило, до оплавления, производят осадку деталей приложенным давлением и тем самым происходит их сварка. Контактную сварку выполняют на специальных механизированных и автоматизированных машинах высокой производительности.

Нагрев металла при сварке может производить не только электрическим током, но и за счет экзотермических химических реакций, идущих с большим выделением тепла. Примером может служить газовая сварка. *Газовую или газопламенную сварку* относят к группе сварки плавлением. Источником нагрева служит

пламя горючего газа (ацетилена), сжигаемого в смеси с технически чистым кислородом в специальных сварочных горелках.

Для газопламенной обработки применяют специальные формы горелок, например, многопламенные горелки, имеющие несколько выходных сопел для газовой смеси и дающие несколько сварочных пламеней. Многопламенные горелки позволяют нагревать сразу значительную поверхность металла и используются, например, в газопрессовой сварке. Сварной стык нагревается по всей поверхности многопламенной горелкой до начала оплавления, затем производится осадка соединяемых деталей гидравлическим устройством.

На экзотермической реакции окисления активных металлов, таких как алюминий и магний, базируется *термитная сварка*, при которой нагрев производят горючей смесью – термитом. Наиболее распространенный вид термита – смесь порошков металлического алюминия и железной окалины. Смесью сгорает, достигая температуры до  $3000^{\circ}\text{C}$  и образуя окись алюминия и расплавленное железо.

Развитие сварочной техники 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 французским ученым был создан новый вид сварки – *электронно-лучевая сварка*. Электронно-лучевую сварку широко применяют при соединении тугоплавких химически активных металлов и сплавов и ряда специальных сталей.

Достаточно перспективно применение *плазменной сварки* и резки металлов. Газ, нагреваемый дуговым разрядом, продувают через канал сопла малого диаметра в особой плазменной горелке, или плазмотроне. Температура газа повышается до  $20000\text{--}30000^{\circ}\text{C}$ . Выходящая из плазматрона тонкая струя горячей плазмы позволяет получить очень концентрированный нагрев.

Находит широкое применение *холодная сварка*, производящаяся за счет сдавливания соединяемых деталей, в результате чего металл течет подобно жидкости, оставаясь от начала до конца сварки холодным. Как результат развития холодной сварки можно отметить *сварку взрывом*, при которой необходимые высокие

давления создаются зарядом взрывчатки, что позволяет соединить очень крупные детали.

К этому же способу можно отнести *электрогидравлическую сварку и магнито-импульсную сварку*, с использованием импульсов электромагнитного поля. Этими способами соединяют сравнительно мелкие детали.

*Диффузионная сварка* производится достаточно продолжительным нагревом деталей под давлением в вакууме, без расплавления металла.

При *сварке тернием* разогрев стыка осуществляется быстрым вращением деталей, соприкасающихся торцами под некоторым давлением.

Широкие перспективы открывает использование источника когерентного излучения – лазера, дающего импульсы световой энергии большой мощности (*лазерная сварка*).

В результате развития и совершенствования техники и технологии сварка является ведущим технологическим процессом при изготовлении и монтаже строительных конструкций.

Сварка имеет неоспоримые преимущества:

- экономия металла в соединениях конструкций;
- уменьшение трудоёмкости изготовления конструкций;
- возможность изготовления конструкций сложной формы;
- герметичность и надежность получаемых сварных соединений.

Однако имеются серьезные недостатки:

- возникновение в конструкции остаточных сварочных напряжений и деформаций;
- возможность появления в соединении горячих и холодных трещин.

## **1.2. Классификация способов сварки**

Все перечисленные выше способы сварки можно квалифицировать по двум основным признакам: – по состоянию металла в сварочной ванне и по виду энергии для нагрева металла.

### 1. По состоянию металла в сварочной ванне различают:

- сварку плавлением;
- сварку давлением.

*Сварку плавлением* осуществляют нагревом кромок соединяемых частей металла и электродного металла до расплавленного состояния с образованием общей ванны жидкого металла. При кристаллизации (затвердении) расплавленный металл сварочной ванны образует прочное соединение, имеющее единую структуру. Основными источниками тепла являются электрическая дуга, газовое пламя, лучевые и плазменные источники.

Классификация основных способов сварки плавлением представлена на рис.1.4.



Рис. 1.4. Классификация основных способов сварки плавлением

*Сварку давлением* осуществляют с использованием механической энергии и давления. Сварка давлением использует пластические свойства материала соединяемых деталей, при этом нагрев играет второстепенную роль или совсем не применяется. Соединение элементов осуществляется под действием механического усилия, вызывающего пластическую деформацию в зоне их контакта.

Классификация основных способов сварки давлением представлена на рис.1.5.

Можно выделить третью группу – *термомеханическую*, в которой используют как тепловую, так и механическую энергию. Так при всех видах электроконтактной сварки (рис.1.4 и 1.5) ис-

пользуют нагрев металла электрическим током и механическое обжатие соединения до пластического состояния.



Рис. 1.5. Классификация основных способов сварки давлением

При термомеханической сварке металл нагревают до пластического состояния за счет высокого электрического сопротивления зоны контакта, а затем под действием механического усилия, пластически деформируется в единое целое соединение.

1. По виду энергии для нагрева металла различают:

- электрическую сварку (дуговую, электрошлаковую, контактную, импульсную и др.);
- холодную сварку (только осадочным давлением);
- механическую сварку (сварку трением);
- химическую сварку (горновую, газовую, термитную);

Например, при газовой сварке используют энергию горения горючих газов – ацетилена, газов - заменителей (пропана, метана, водорода и т.д.) или паров горючих жидкостей (бензина и керосина) в кислородной атмосфере.

2. По способу защиты металла шва различают:

- сварку в воздухе;
- сварку под флюсом;
- сварку в среде защитных газов;
- сварку в вакууме и т.д.



Электродуговая сварка плавлением является наиболее часто применяемым видом сварки при изготовлении и монтаже сварных строительных металлических конструкций.

Электродуговую сварку можно классифицировать следующим образом:

1. По роду тока сварки:

- сварка на переменном токе;
- сварка на постоянном токе.

2. По виду полярности тока при сварке на постоянном токе:

- сварка на прямой полярности (минус – на электроде; плюс – на свариваемой детали) (рис. 1.6, а);
- сварка на обратной полярности (плюс – на электроде; минус – на свариваемой детали) (рис. 1.6, б).

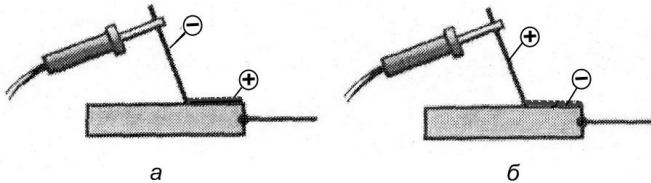


Рис. 1.6. Виды полярности тока при сварке

3. По типу используемых электродов:

- плавящимся металлическим электродом или электродной проволокой;
- неплавящимся электродом (вольфрамовым или угольным).

4. По способу защиты зоны сварки от вредного воздействия воздуха:

- сварка штучными плавящимися электродами с покрытием,
- сварка под флюсом,
- сварка в среде защитных газов (инертных или активных)
- сварка самозащитными порошковыми проволоками.

5. По степени механизации:

- ручная дуговая сварка штучными электродами;
- полуавтоматическая сварка (механизированная) в среде углекислого газа или под флюсом;
- автоматическая сварка под флюсом.

### 1.3. Виды сварки, применяемые при изготовлении и монтаже металлических строительных конструкций

Как было отмечено выше, в настоящее время существует большое количество видов и способов сварки (см. рис.1.4 и 1.5). Однако при изготовлении и монтаже строительных металлических конструкций в основном применяют электродугую сварку плавящимся электродом.

*Сваркой плавящимся электродом называют сварку, при которой заполнение шва происходит за счет расплавления электрода или сварочной проволоки.*

Основные виды электродуговой сварки плавящимся электродом, применяемые в строительстве при изготовлении металлических конструкций:

- ручная дуговая сварка штучными электродами;
- полуавтоматическая сварка (механизированная) в среде углекислого газа;
- автоматическая сварка под флюсом.

При сварке листов больших толщин применяют электрошлаковую сварку или электрошлаковый переплав, а также сварку с порошкообразным присадочным металлом (ППМ). Порошкообразный присадочный металл засыпают в зазор между свариваемыми элементами перед сваркой, а затем варят автоматической сваркой при больших токах  $1200\text{ А}$  и более. Порошкообразным присадочным металлом служит мелко нарубленная сварочная проволока (обычно низшего качества). В некоторых случаях применяют электроконтактную точечную сварку (в соединениях элементов ферм) и стыковую сварку оплавлением (при сварке стыков арматуры). При сварке высокопрочных сталей и алюминиевых сплавов применяют аргоно-дугую сварку неплавящимся электродом. Наметилась тенденция применения автоматизированных кареток и тележек, способных дистанционно выполнять сварочные операции, в том числе и в труднодоступных и опасных для человека местах.

Ниже подробно описаны процессы, происходящие при сварке плавящимся и неплавящимся электродами, сварочные материалы, сварочное оборудование для основных видов сварки, применяемых при изготовлении и монтаже строительных металлических конструкций, способы механизации, автоматизации и роботизации сварочных процессов.



## 2. ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ

### 2.1. Основные процессы, происходящие при сварке плавящимся электродом

При электродуговой сварке плавящимся электродом ток от сварочного трансформатора подводят к электроду (или к сварочной проволоке) и к изделию. Между электродом (сварочной проволокой) и изделием возбуждается электрическая дуга (рис.В.1)<sup>1</sup>, расплавляющая электрод и изделие. Заполнение шва происходит за счет расплавления электрода (рис.В.1, а) или сварочной проволоки (рис.В.1, б).

*Сварочной дугой называют устойчивый длительный разряд электрического тока в газовой среде возникающий между электродом и изделием.*

Столб дугового разряда обычно имеет коническую или сферическую форму. Дуга характеризуется сильным световым эффектом и выделением большого количества тепловой энергии. Температура дуги достигает 6000<sup>0</sup>С. Газ в столбе дуги ослепительно ярко светится и сильно ионизирован (рис.В.1, в). Столб дуги окружен пламенем или ореолом из раскаленных газов. Дуга воздействует на поверхность электрода и изделия и расплавляет их.

Для питания сварочной дуги применяют как постоянный, так и переменный ток. В зависимости от способа подсоединения источника постоянного тока к изделию различают сварку прямой и обратной полярности. При прямой полярности – минус на электроде; плюс на свариваемом металле. При обратной полярности – минус на свариваемом металле; плюс на электроде.

При сварке на переменном токе полярность меняется примерно 100 раз в секунду (при частоте 50 Гц).

Сила тока при сварке плавящимся электродом значительная:

- при ручной дуговой сварке –  $I=100 \div 400 \text{ A}$ ;
- при полуавтоматической сварке –  $I=350 \div 600 \text{ A}$ ;
- при автоматической –  $I=600 \div 1000 \text{ A}$  и более.

---

<sup>1</sup> Рисунки В.1 - В.38 помещены на цветной вклейке в данном учебном пособии.

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)