

УЧЕБНИК XXI ВЕК

А.М. Ибрагимов В.С. Парлашкевич

СВАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ



Б
А
К
А
Л
А
В
Р



А.М. Ибрагимов, В.С. Парлашкевич

СВАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Рекомендовано Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Московский государственный строительный университет» в качестве учебного пособия для студентов ВПО (уровень подготовки бакалавр), обучающихся по направлению «Промышленное и гражданское строительство»



Издательство АСВ
Москва
2012

УДК 624.014:621.791
ББК 38.634
П 18

Рецензенты:

доцент кафедры «Управление недвижимостью»
Государственного университета управления *Р.А. Попова*;
профессор кафедры «Металлические конструкции» Московского
государственного строительного университета *В.В. Девятков*

Ибрагимов А.М., Парлашкевич В.С.

Сварка строительных металлических конструкций: Учебное пособие. – М.: Издательство АСВ, 2012, – 176 с.

ISBN 978-5-93093-891-3

В пособии приводятся основные сведения о существующих видах сварки, сварочных материалах, способах механизации и автоматизации сварочных процессов, безопасности при выполнении сварочных работ. Большое внимание уделяется вопросам повышения прочности, надежности и качества сварных соединений, а также проблемам их свариваемости. Представлена методика расчета сварных соединений при различных видах нагрузок. Изложены основы теории образования сварочных напряжений и деформаций и описаны мероприятия по их снижению.

Пособие предназначено для студентов-бакалавров, обучающихся по направлению «Строительство» и изучающих раздел «Сварка металлических конструкций» дисциплины «Металлические конструкции, включая сварку»

УДК 624.014:621.791
ББК 38.634

ISBN 978-5-93093-891-3

© Издательство АСВ, 2012
© Ибрагимов А.М.,
Парлашкевич В.С., 2012

ПРЕДИСЛОВИЕ

Учебное пособие разработано в помощь студентам-бакалаврам, обучающимся по направлению «Строительство» при изучении раздела «Сварка металлических конструкций», предусмотренного дисциплиной «Металлические конструкции, включая сварку».

В пособии приводятся основные сведения о существующих видах сварки, сварочных материалах, способах механизации и автоматизации сварочных процессов, безопасности при выполнении сварочных работ. Большое внимание уделяется вопросам повышения прочности, надежности и качества сварных соединений и проблемам их свариваемости. Представлена методика расчета сварных соединений при различных видах нагрузок. Изложены основы теории образования сварочных напряжений и деформаций и мероприятия по их снижению. Представлены основные составляющие технологического процесса изготовления сварных строительных металлических конструкций.

При изучении раздела «Сварка металлических конструкций» с помощью данного учебного пособия студенты ознакомятся:

- с одним из наиболее распространенных технологических процессов при изготовлении строительных металлических конструкций – сваркой;
- с сущностью сварки как процесса образования неразъемного соединения металлических строительных конструкций;
- со сварочными материалами, применяемыми при сварке строительных металлических конструкций;
- с технологией и оборудованием различных видов сварки, применяемых при изготовлении и монтаже строительных металлических конструкций;
- с механизацией, автоматизацией и роботизацией сварочных работ в строительстве;
- с основными требованиями техники безопасности при выполнении сварочных работ;
- с обеспечением прочности сварных соединений и основными методами контроля качества, обеспечивающими эксплуатационную надежность и долговечность строительных конструкций;
- с методикой расчета сварных соединений и узлов металлических строительных конструкций;
- с причинами образования и развития сварочных напряжений и деформаций в строительных металлических конструкциях и их

влиянием на работоспособность и точность конструкций, а также мероприятиями по их уменьшению;

– с проблемами свариваемости строительных сталей и причинами образования холодных и горячих трещин в сварных соединениях, а также мероприятиями по повышению свариваемости сварных соединений в конструкциях;

– с технологическим процессом изготовления сварных строительных металлических конструкций и основными составляющими этого процесса, связанными со сваркой. Студенты ознакомятся с требованиями по контролю качества строительных металлических конструкций в процессе их изготовления.

Пособие может быть использовано студентами-специалистами и студентами-магистрами, обучающимися по направлению «Строительство» и изучающих разделы дисциплины «Металлические конструкции, включая сварку».

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ

Сварка-это технологический процесс получения неразъёмных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их нагревании или пластическом деформировании или совместном действии того и другого (ГОСТ 2601-84).*

Сварка является высокопроизводительным технологическим процессом. Благодаря своей простоте сварка находит широкое применение во всех отраслях промышленности, в том числе при изготовлении и монтаже строительных конструкций [1, 2].

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 сварки

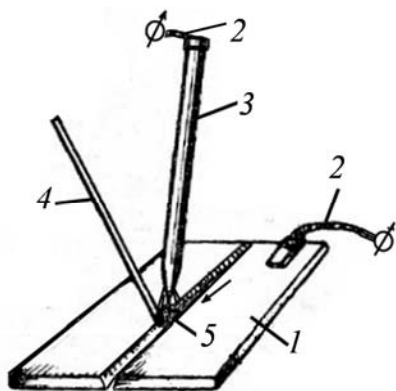
Использование простейших методов сварки относится к глубокой древности – ко времени освоения человеком металлов. Соединение элементов из металла осуществляли путем проковки каменными орудиями нагретого металла. Современным аналогом этого вида сварки является *кузнечная сварка*.

В дальнейшем соединение металла осуществляли путем помещения соединяемых деталей в форму, в которую заливали жидкий расплавленный металл. Современным аналогом этого вида сварки является *литейная сварка*.

Кузнечная и литейная сварка были ведущими процессами соединения металла вплоть до второй половины XIX в.

Большое значение для развития сварочной техники имело изобретение эффективных источников нагрева. Так, в 1802 г. профессор Санкт-Петербургской военно-хирургической академии В.В. Петров открыл *явление электрической дуги*, возникающей при пропускании электрического тока через два стержня, один из которых угольный, другой – из металла. Температура внутри электрической дуги достигала 2000°C и более. Он указал на возможность использования теплоты, выделяемой дугой, для плавления металлов. Независимо от В.В. Петрова, но несколько позже (1809 г.), электрическую дугу получил английский физик Г. Деви. 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 1882 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).



*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*

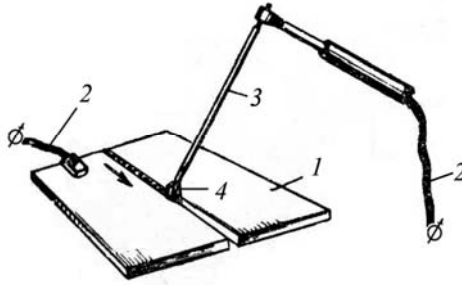
Сущность способа сварки, предложенной Н.Н. Бенардосом, заключалась в следующем:

- к свариваемому металлу он присоединил один полюс динамомашины, 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, образуя сварной шов.

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

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.

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).



*Рис. 1.2. Дуговая сварка металлическим электродом (способ Н.Г. Славянова):
1 – свариваемый металл; 2 – электрический провод; 3 – металлический электрод; 4 – электрическая дуга*

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

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

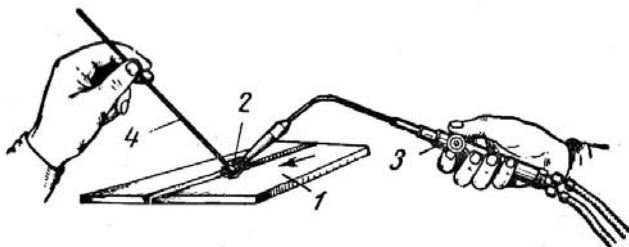
Так же как и в способе сварки, предложенном Н.Н. Бенардосом, сварной шов не был защищен от кислорода воздуха и получался низкого качества. Однако Н.Г.Славянов пытался защитить металл шва дробленым стеклом и тем самым указал на возможность сварки под флюсом.

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 и многочисленные дефекты – поры, шлаковые включения и др.

В конце XIX в. в связи с началом промышленного производства кислорода и ацетилена был разработан способ газовой сварки кислородно-ацетиленовым пламенем (рис. 1.3).



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

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 сварных швов, чем дуговая сварка голым электродом, и поэтому в этот период *газовая сварка* являлась основным способом сварки.

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

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

- место соединения кромок свариваемого металла и присадочный металл нагреваются теплом сварочной горелки, образовавшимся 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 классифицируют по виду применяемого газа:

- ацетилено-кислородная;
- керосино-кислородная;
- бензино-кислородная;
- пропанобутаново-кислородная;
- водородно-кислородная и др.

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

В 1907 г. шведский инженер О. Квальберг впервые применил при сварке плавлением *металлические электроды с нанесенным на их поверхность покрытием*. Это покрытие предохраняло металл шва

от вредного воздействия воздуха, 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 концу первой четверти XX века ручная дуговая сварка плавящимся электродом стала основным способом сварки во всем мире.

В нашей стране ручная дуговая сварка начала применяться 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. Для питания дуги были созданы преобразователи переменного тока в постоянный сварочный ток. Для решения этой задачи использовали специальные сварочные генераторы постоянного тока.

Многочисленные исследования, проводимые в СССР, доказали возможность качественного выполнения сварных швов и на обычном переменном токе промышленной частоты, применяя дешевые, малогабаритные сварочные трансформаторы. Сварочный трансформатор стал основным видом оборудования для питания током дуговой сварки в нашей стране. 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 гг. XX в. 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 при дуговой сварке.

Несмотря на усовершенствование системы питания дуги, сама дуговая сварка долгое время 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 гг., когда на основе идей, выдвину-

тых еще Н.Г. Славяновым, коллективом Киевского института электросварки под руководством академика Е.О. Патона был разработан новый способ сварки – *автоматизированной сваркой под флюсом*. Автоматическая сварка под флюсом позволяет резко повысить производительность процесса, при этом достигаются высокое качество и надежность сварного соединения.

В конце 40-х гг. получил промышленное применение способ *дуговой сварки в защитных газах*. Газ для защиты зоны сварки впервые использовал американский ученый А. Александер 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 институтов ЦНИИТМАШ, электросварки им. Е.И. Патона и ряда промышленных предприятий был усовершенствован способ сварки в углекислом газе. Этот способ в настоящее время широко используют как в России, так и во многих странах мира.

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

Сотрудниками института электросварки им. Е.О. Патона в содружестве с МВТУ им. Баумана и с работниками заводов тяжелого машиностроения был разработан принципиально новый вид электрической сварки плавлением – *электрошлаковая сварка*.

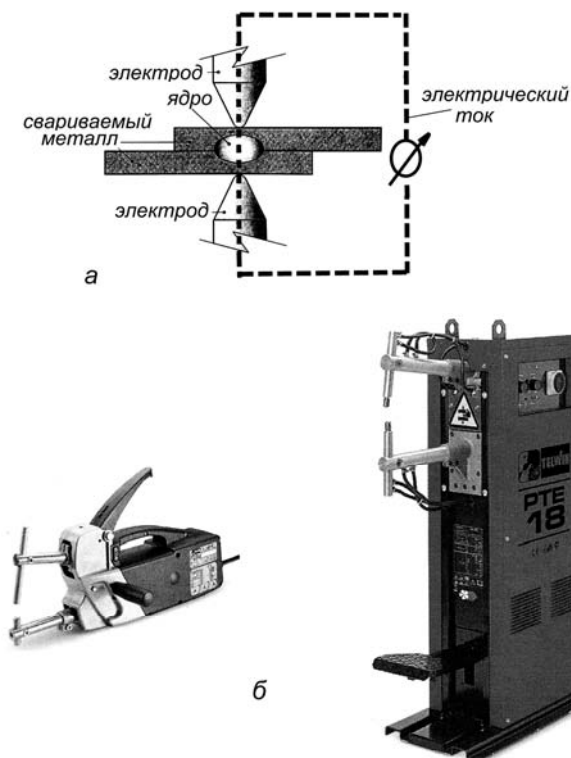
В процессе *электрошлаковой сварки* металл нагревается в результате пропускания тока через расплавленный шлак. Разработка этого вида сварки позволила успешно решить важные для дальнейшего развития промышленности вопросы качественной и производительной сварки металла практически неограниченной толщины и механизации сварки вертикальных швов.

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

Открытая Н.Н. Бенардосом в 1887 г. *электроконтактная сварка* занимает в настоящее время одно из ведущих мест в промышлен-

ности (рис. 1.4). Наибольшее распространение получили три основных способа электроконтактной сварки: – точечная сварка (см. рис. 1.4), стыковая сварка и шовная сварка.

Точечную электроконтактную сварку широко используют в современном машиностроении и самолетостроении при изготовлении кузовов машин и корпусов самолетов. Тонкостенные штампованные детали машин и самолетов сварены огромным количеством точек (10 000 – 1 000 000 и более). На рис.1.4 представлены схема процесса точечной сварки и современные установки для точечной сварки.



*Рис. 1.4. Электрическая контактная точечная сварка:
а – схема процесса; б – современные установки для точечной сварки*

Стыковую электроконтактную сварку широко используют для сварки арматурных стержней. При стыковой сварке концы свариваемых стержней сближают и через них пропускают ток. При соприкосновении торцы стержней быстро нагреваются до высоких температур, а затем обжимаются.

Шовную электроконтактную сварку выполняют вращающимися дисковыми электродами, обжимающими соединяемые листы. К дисковым электродам подведен ток и приложено усилие обжатия. Шовную электроконтактную сварку применяют при изготовлении конструкций из листового металла (емкостей, резервуаров и др.).

Сущность способа электроконтактной сварки заключается в следующем (рис. 1.4, а):

- соединяемые детали заводят между электродами, к которым подведен электрический ток;
- соединяемые детали нагревают проходящим через них током;
- зона контакта соединяемых деталей разогревается до температуры плавления (ядро);
- производят осадку деталей приложенным давлением.

Сварка происходит за счет электрического нагрева до температур плавления и механического обжатия.

Контактную сварку выполняют на специальных механизированных и автоматизированных машинах высокой производительности (рис. 1.4, б).

Дальнейшее развитие получил метод газовой сварки. Примером могут служить *газопламенная и газопрессовая сварка*. Как уже отмечалось, источником нагрева при сварке служит пламя горючего газа (ацетилена или других газов и их смесей) (см. рис.1.3), сжигаемого в смеси с технически чистым кислородом в специальных сварочных горелках. Для газопламенной и газопрессовой сварки 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.

При *газопрессовой сварке* сварной стык нагревают по всей поверхности многопламенной горелкой до начала оплавления, затем производят осадку (сжатие) соединяемых деталей гидравлическим устройством.

Развитие сварочной техники в настоящее время связано с изысканием новых источников теплоты для плавления металла. Из новых нетрадиционных видов сварки следует отметить ниже перечисленные виды сварки [14].

Термитная сварка. При термитной сварке нагрев производят при помощи горючей смеси – *термитного порошка* – состоящего из смеси порошков металлического алюминия и железной окалины (окислов железа). Термитный порошок засыпают в тигель, облицованный огнеупорным материалом. Горение смеси происходит бурно

и достигает температуры до 3000°C. При этом образуются окись алюминия и расплавленное железо. Жидкий металл, оплавляя кромки свариваемых деталей и заполняя зазор между ними, образует сварной шов. Термитная сварка применяется в основном при сварке стыков рельсовых путей.

Электронно-лучевая сварка. Источником теплоты для плавления металла является концентрированный поток электронов в вакууме. Способ электронно-лучевой сварки был изобретен в конце 50-х гг. французскими учеными. Сварку производят в вакуумной камере. Выбрасываемые катодом электроны концентрируются в тонкий направленный луч, который фокусируется и сжимается в электростатическом или магнитном поле. Электронный луч осуществляет нагрев поверхности свариваемой детали до температуры плавления. Электронно-лучевую сварку широко применяют при соединении тугоплавких химически активных металлов и сплавов и ряда специальных сталей.

Плазменная сварка. В качестве источника теплоты применяют газ, нагреваемый дугowym разрядом, продуваемый через канал сопла малого диаметра в особой плазменной горелке, или плазматроне. Температура газа повышается до 20 000-30 000°C. Выходящая из плазматрона тонкая струя горячей плазмы позволяет получить очень концентрированный нагрев. В последнее время широко применяется плазменная резка металлов.

Микроплазменная сварка. Данный вид сварки осуществляют малоамперной плазменной дугой, сформированной специальным плазматроном с вольфрамовым электродом, соединяют детали малых толщин.

Холодная сварка. Холодную сварку выполняют без нагрева за счет сдавливания соединяемых деталей до пластической деформации. При пластической деформации металл течет, молекулы сближаются и происходит взаимное соединение торцов деталей. Холодной сваркой можно сваривать металлы, обладающие высокими пластическими свойствами при нормальной температуре, такие как алюминий, цинк, титан, никель и др.

Сварка взрывом. Сварку осуществляют за счет того, что под действием давления взрыва соприкасающиеся поверхности деталей мгновенно приходят в расплавленное состояние и соединяются (свариваются). Необходимое высокое давление создают зарядом взрывчатки. Этим способом можно соединять очень крупные детали.

Радиочастотная сварка. При радиочастотной сварке нагрев кромок осуществляют радиочастотным генератором. Разогретые до

температуры сварки торцы сдавливают, и при этом они свариваются. Этим способом хорошо сваривать детали малой толщины.

Магнитно-импульсная сварка. При магнитно-импульсной сварке используют импульсы электромагнитного поля. Этим способом соединяют сравнительно мелкие детали.

Диффузионная сварка. Диффузионную сварку производят без расплавления металла достаточно продолжительным нагревом деталей под давлением в вакууме или в среде защитных газов. Сварка происходит в результате взаимного проникновения (диффузии) частиц металлов при соприкосновении их поверхностей. Нагрев производят специальным нагревателем. Взаимное проникновение частиц металлов обусловлено нагревом соединяемых поверхностей и их обжатием.

Сварка трением. Сварку трением осуществляют за счет тепла, возникающего при быстром вращении деталей, соприкасающихся торцами. Торцы деталей при этом сдавливаются.

Лазерная сварка. При лазерной сварке нагрев осуществляют за счет использования источников когерентного излучения – лазеров, дающих импульсы световой энергии большой мощности.

Попадая на свариваемые поверхности, луч мгновенно расплавляет их, причем зона разогрева минимальна.

Электролитическая сварка. При электролитической сварке детали, опущенные в водный раствор электролита, разогревают под действием проходящего между ними тока.

Ультразвуковая сварка. Ультразвуковая сварка осуществляется совместным действием на соединяемые поверхности механических колебаний высокой частоты (*до 20000 Гц*) и последующего незначительного сдавливания.

Индукционная сварка. При индукционной сварке соединяемые кромки непрерывно нагревают высокочастотным индуктором до высоких температур (*1250 °С*), а затем сдавливают. Для сварки применяют ток частотой от *4000 до 450000 Гц*, в зависимости от свариваемого металла.

В настоящее время усовершенствуются известные виды сварки и ведутся разработки других видов сварки, например, делаются попытки использовать для сварки энергию излучения Солнца (*гелиосварка*).

Параллельно с изысканием новых источников теплоты и новых способов сварки изыскиваются новые нетрадиционные сварочные материалы, как, например, *порошковая электродная проволока и порошковая ленточная проволока (порошковая лента)*.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О СВАРКЕ	5
1.1. Исторический очерк развития сварочного производства.....	5
1.2. Классификация способов сварки	15
1.3. Виды сварки, применяемые при изготовлении металлических строительных конструкций	18
2. ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОИСХОДЯЩИЕ ПРИ СВАРКЕ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ	20
3. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СВАРКИ	25
3.1. Сварочная проволока	25
3.2. Металлические покрытые электроды	32
3.3. Газы, применяемые для сварки и резки	34
4. ЗАЩИТА ШВА ОТ АТМОСФЕРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ...	37
4.1. Вредные воздействия окружающей среды	37
4.2. Покрытия электродов и флюсы	39
4.3. Защитные газы и их смеси	42
5. РУЧНАЯ ДУГОВАЯ СВАРКА	45
5.1. Ручная дуговая сварка покрытыми электродами.....	45
5.2. Ручная дуговая сварка неплавящимся электродом в среде инертного газа	54
6. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ВИДЫ ДУГОВОЙ СВАРКИ	59
6.1. Полуавтоматическая сварка в среде углекислого газа ...	59
6.2. Механизированная сварка под флюсом	71
6.3. Механизированная сварка порошковой проволокой.....	73
6.4. Механизированная сварка порошковой лентой	75
7. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ВИДЫ СВАРКИ	76
7.1 Автоматическая сварка под флюсом.....	76

7.2. Применение сварочных кареток и автоматических тележек в сварочном производстве	92
7.3. Применение промышленных роботов в сварочном производстве	96
8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СВАРКЕ	103
8.1. Защита от вредных газов и аэрозолей	103
8.2. Защита зрения и кожи лица	108
8.3. Защита сварщиков и их окружения от световой и тепловой инсоляции	111
8.4. Защита от тепловых ожогов	112
8.5. Защита от поражений электрическим током	113
8.6. Пожаробезопасность при проведении сварочных работ	114
8.7. Предупреждение взрывов	114
9. ВИДЫ СВАРНЫХ ШВОВ И СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ.	116
9.1. Классификация сварных швов	116
9.2. Классификация сварных соединений	122
10. ПРОЧНОСТЬ И КАЧЕСТВО СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	124
10.1. Прочность сварных соединений	124
10.2. Контроль качества сварных соединений	125
11. РАСЧЕТ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ	132
11.1. Расчет стыковых соединений на сжатие и растяжение	132
11.2. Расчет стыковых соединений на изгиб	134
11.3. Расчет стыковых соединений на срез (сдвиг)	135
11.4. Расчет угловых швов	135
11.5. Расчет угловых швов на действие сдвигающей силы, приложенной с эксцентриситетом	137
11.6. Расчет угловых швов на действие взаимноперпендикулярных сдвигающих сил	140

12. СВАРОЧНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ И ДЕФОРМАЦИИ	142
12.1. Общие понятия о напряжениях и деформациях	142
12.2. Тепловые процессы при сварке и образование сварочных напряжений и деформаций	142
12.3. Остаточные сварочные деформации и их влияние на работоспособность и точность конструкций.....	144
12.4. Основные мероприятия по уменьшению сварочных напряжений и деформаций	147
13. ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	150
13.1. Общая схема технологического процесса изготовления металлических конструкций	150
13.2. Подготовка элементов под сварку.....	151
13.3. Сборка элементов под сварку	155
13.4. Сварка элементов конструкций	157
13.5. Пооперационный контроль качества	159
14. СВАРИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ.....	163
14.1. Общие сведения о свариваемости сталей	163
14.2. Показатели свариваемости	164
14.3. Методы испытания на свариваемость.....	165
14.4. Образование горячих и холодных трещин при сварке	166
14.5. Оценка сопротивляемости образованию горячих и холодных трещин при сварке	167
Литература	169

Учебное издание

Александр Майорович **Ибрагимов**
Валентина Сергеевна **Парлашкевич**

СВАРКА СТРОИТЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

Редактор: *В.Ш. Мерзлякова*
Компьютерная верстка: *Д.А. Матвеев*
Дизайн обложки: *Н.С. Романова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Подписано к печати 20.06.12.
Формат 60х90/16. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Бумага офсетная.
Усл. 11 п. л. Заказ № . Тираж 500 экз.

ООО «Издательство АСВ», 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел
реализации к. 511,
тел., факс: (499)183-56-83; e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>