



Я МАСТЕР



Е. А. Банников

Сварочные работы
Современное оборудование
Технологии дуговой
и холодной сварки

Евгений Анатольевич Банников

Сварка

Серия «Я мастер»

http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=8958802

Е.А. Банников. Сварка: АСТ, Кладезь; Москва; 2014

ISBN 978-5-17-085316-8

Аннотация

Это прикладное руководство необходимо как начинающим сварщикам, так и мастерам-любителям. В ней собрана вся основная информация для самостоятельной подготовки материалов и работы на сварочном аппарате. Книга может использоваться как при самостоятельном обучении, так и для профессиональной подготовки к учебному заведению по профессии «сварщик». Она содержит основные понятия и определения обо всех видах сварки, включая дуговую, холодную и газовую, а так же полное описание соединений, применяемых материалах и аппаратуре. Рассмотрены правила безопасной эксплуатации портативных сварочных аппаратов и промышленной техники.

Содержание

Введение	6
Глава 1	14
Классификация видов сварки плавлением	14
Газовая сварка	20
Газы, применяемые при газовой сварке, резке и пайке	23
Кислород (O ₂)	23
Водород (H ₂)	24
Пиролизный газ	25
Нефтяной газ	25
Природный газ	25
Пропанобутановая смесь	26
Керосин и бензин	26
Ацетилен	26
Материалы и оборудование для газопламенной обработки металлов:	29
Достоинства газовой сварки:	30
Недостатки газовой сварки:	30
Электрическая дуговая сварка	31
Зажигание (возбуждение) и горение электрической дуги	38
Материалы и оборудование для производства работ электродуговой	43

сваркой:	
Преимущества электродуговой сварки:	43
Недостатки электродуговой сварки:	44
Электродуговая сварка (ЭДС)	45
Аппараты для ЭДС условно разделяют на следующие типы:	48
Оборудование, необходимое для ЭДС:	48
Преимущества ЭДС:	49
Недостатки ЭДС:	50
Электронно-лучевая сварка (ЭЛС)	51
Электронно-лучевые пушки можно разделить на типы:	57
Оборудование для ЭЛС:	57
Преимущества ЭЛС:	58
Недостатки ЭЛС:	59
Плазменная сварка	60
Конец ознакомительного фрагмента.	64

Е. А. Банников

Сварка

© ООО «Издательство АСТ»

Введение

Сварка – это технологический процесс получения неразъемных соединений посредством установления межатомных связей между свариваемыми частями при их нагревании или пластическом деформировании, или совместном действии того и другого.

Благодаря своей относительной простоте применения, скорости соединения различных материалов сварка находит широкое применение.

Сварка является экономически выгодным, высокопроизводительным технологическим процессом, что обеспечивает ее использование во всех областях машиностроения, строительства, науки и техники. Например, при замене клепаных конструкций на сварные соединения экономия металлов составляет 15–20 %, а при замене литых деталей сварными – около 50 %. Сварка является необходимым технологическим процессом обработки металлов. В настоящее время сваркой соединяют разнородные и однородные материалы: металлы и неметаллы – от нескольких микрон в микросхемах до нескольких метров – в тяжелом машиностроении. Трудно назвать отрасль промышленности, которая обходилась бы без применения сварки. Сваркой соединяют детали космических кораблей, лопасти турбин, корпуса подводных лодок и самолетов, корпуса приборов и выводы микро-

схем. Детали, соединенные сваркой, имеют прочность, равную прочности основного металла.

Различают два вида (способа) сварки по типу энергетического воздействия:

- *сварка плавлением (с применением тепловой энергии);*
- *сварка давлением (с применением механической энергии).*

В первом случае материал в месте соединения расплавляют, а во втором процесс выполняют с приложением давления и местным нагревом или без него.

Энергия в зону сварки вводится в виде теплоты, упруго-пластической деформации, электронного, ионного, электромагнитного и других видов воздействия.

В зависимости от формы энергии, используемой для образования сварного соединения, все виды сварки разделяют на три класса:

- **К термическому классу (Т)** относятся виды сварки, осуществляемой плавлением с использованием тепловой энергии. Основными источниками теплоты являются сварочная дуга, плазма, лучевые источники энергии (лазерное, электронное, фотонное излучение), теплота, выделяемая при химических реакциях (газовая, термитная).

- **К механическому классу (М)** относятся виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления (ультразвуковая, взрывом, трением).

- **К термомеханическому классу (ТМ)** относятся виды сварки с использованием тепловой энергии и давления (диф-

фузная сварка, контактная и др.).

Наибольший объем среди всего разнообразия видов сварки занимает *дуговая сварка*, в частности ручная дуговая электросварка. Источником теплоты при этом является электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой.

Впервые мысль о возможности практического использования «электрических искр» для плавления металлов высказал в 1753 г. академик Российской Академии наук Г. Р. Рихман, исследовавший атмосферное электричество.

В 1802 г. профессор Санкт-Петербургской военно-хирургической академии Василий Владимирович Петров открыл *явление электрической дуги*. Петров исследовал возможности использования электричества для освещения. Им был собран «Вольтов столб» из 2 400 пар медно-цинковых кружков, с проложенной между ними бумагой, смоченных раствором нашатыря. Это была одна из самых мощных электрических батарей того времени.

В. В. Петров в своих трудах первым описал явление электрической дуги и показал возможность использования теплоты, выделяемой дугой, для плавления металлов.

Этим открытием, одним из самых значительных в XIX веке, В. В. Петров положил начало развитию новых технических знаний и науки, получивших дальнейшее практическое применение в электродуговом освещении, электрическом нагреве, плавке и сварке металлов.

Однако в то время это открытие не нашло практического применения. Спустя почти 80 лет наш русский изобретатель Н. Н. Бенардос в 1892 г. начал разработку практического применения электрической дуги для сварки металлов. Н. Н. Бенардос в 1885–1887 гг. запатентовал свой способ сварки «Электрогефест», или «Способ соединения и разъединения металлов непосредственным действием электрического тока», в 13 странах, в том числе и в Америке, хотя американский ученый И. Томпсон в 1867 г. одним из первых в мире попытался сварить два куска металла электросваркой.

В 1892 г. на электротехнической выставке, проходившей в Петербурге, Н. Н. Бенардос представил описание своего изобретения: «Электропайка, электросварка, электроотливка, электронаслоение, электросверление, электроразрезывание всех металлов». Он присоединял один полюс динамо-машины к листу металла, а другой к угольному электроду. В пламя дуги вводили металлический стержень.

Но Бенардос не догадался о том, что можно не вводить посторонний металл при плавящемся электроде. Это сделал русский ученый Н. Г. Славянов. Его «Способ электрической отливки металлов» увидел весь мир. На выставке в 1893 г. Славянов получил золотую медаль «За дуговую электросварку». Он представил двенадцатигранную призму из никеля, томпака, стали, чугуна, нейзильбера, бронзы обычной и колокольной, где все грани были соединены сваркой. После этого Америка уже не сомневалась в возможностях сварки

цветных металлов по способу Н. Г. Славянова.

С именами Н. Г. Славянова и Н. Н. Бенардоса связано развитие металлургических основ электрической дуговой сварки, контактной сварки, создание первого автоматического регулятора длины дуги и первого сварочного генератора. Н. Г. Славяновым были предложены флюсы для получения высококачественного металла сварных швов. В Московском политехническом музее демонстрируется подлинный сварочный генератор Н. Г. Славянова и образцы сварных соединений.

В начале 1930-х годов в связи с потребностью в более прогрессивных способах соединения металлов стала развиваться сварочная техника. В 1929 г. советский инженер-изобретатель Д. А. Дульчевский разработал *способ автоматической дуговой сварки под флюсом*. Под руководством академика В. П. Вологодина в 1924–1935 гг. с использованием электрической дуговой сварки были изготовлены первые отечественные котлы и корпуса судов. Сварку применяли ручную дуговую, электродами с тонкими ионизирующими покрытиями.

В 1935–1939 гг. стали применять *легированные электроды с толстым покрытием*. Их применение позволило использовать сварку в изготовлении промышленного оборудования и строительных конструкций.

Огромный вклад в развитие сварочных технологий внес киевский институт им. Е. О. Патона.

Здесь была разработана *электрошлаковая сварка*, изготовлены высокоскоростные сварочные машины для сварки под флюсом. Применение электрошлаковой сварки позволило заменить литые и кованные крупногабаритные изделия сварными, более технологичными.

В период Великой Отечественной войны сварка получила широкое применение в военной технике, были разработаны уникальные способы *сварки броневых сталей*. В послевоенное время при восстановлении народного хозяйства сварка как прогрессивный способ соединения металлов значительно вытеснила клепку.

С 1948 г. промышленное применение получили новые способы сварки: сварка в среде защитных газов, ручная, механизированная и автоматическая сварка плавящимся и неплавящимся электродом.

В 1950–1952 гг. в ЦНИИТмаше при участии МВТУ им. Н. Э. Баумана и ИЭС им. Е. О. Патона под руководством профессора К. Ф. Любавского была разработана *сварка низколегированных и низкоуглеродистых сталей в среде углекислого газа*. Сейчас этот способ сварки составляет 30 % объема всех сварочных работ.

В конце 1950-х годов французскими учеными был разработан *новый вид сварки плавлением – электронно-лучевой*, получивший широкое применение в производстве микроэлектронной техники и выплавке особо чистых сплавов.

Впервые в мире советские космонавты В. Кубасов и Г.

Шонин в 1969 г. осуществили *автоматическую сварку и резку металлов в открытом космосе*. В 1984 г. космонавты С. Савицкая и В. Джанибеков провели ручную сварку, резку и пайку различных металлов в космосе. В настоящее время сварку и резку металлов проводят в космосе, под водой, в вакууме и на открытом воздухе.

Открытая и разработанная Н. Н. Бенардосом в 1887 г. *контактная и шовная сварка* широко применяется в настоящее время. Кузов современного автомобиля, состоящий из тонколистовых штампованных деталей, сварен более чем в 10 тысячах точек. Самолет насчитывает уже несколько миллионов сварных точек или «электрозаклепок».

Наряду с дуговой электросваркой, к сварке плавлением относят газовую сварку. Для плавления металлов используют тепло пламени смеси газов, сжигаемых с помощью горелки. Газовая сварка классифицируется по виду применяемого горючего газа: ацетиленокислородная, керосино-кислородная, бензино-кислородная, пропанобутано-кислородная, водород-кислородная и др.

Способ газовой сварки был разработан в конце XIX столетия, когда началось промышленное производство кислорода, водорода и ацетилена. В этот период газовая сварка являлась основным способом сварки металлов и обеспечивала получение наиболее прочных соединений. Наибольшее развитие газовая сварка с применением ацетилена получила в период развития сети железных дорог и вагонострое-

ния. Необходимо было производить большой объем работ по сборке вагонов, паровозов. В настоящее время газовая сварка применяется во многих отраслях промышленности: при изготовлении и ремонте изделий из тонколистовой стали, сварке цветных металлов и их сплавов, а также при наплавочных работах. Разновидностью газопламенной обработки является *газотермическая резка*, широко применяемая на этапе заготовительных операций при раскрое металлов и резке металлолома.

Несмотря на многочисленные способы применения механизированных и автоматизированных видов сварки, масштабы применения ручной дуговой электросварки увеличиваются. Это связано с созданием новых материалов и оборудования для производственных процессов. На эти позиции ручную сварку выдвинули высокая скорость соединений металлов и технологичность процесса.

Начальной и конечной операцией создания современных конструкций часто является ручная дуговая сварка.

Глава 1

Термический класс сварки

Классификация видов сварки плавлением

Термический класс сварки включает все виды сварки с использованием тепловой энергии.

Сварку плавлением в зависимости от различных способов, характера источников нагрева и расплавления свариваемых кромок деталей можно разделить на следующие основные виды:

- *газовая сварка;*
- *электрическая дуговая сварка;*
- *электрошлаковая сварка;*
- *электронно-лучевая сварка;*
- *плазменная сварка;*
- *лазерная сварка;*
- *термитная сварка.*

Этот класс характеризуется тем, что *сварка осуществляется плавлением кромок соединяемых частей*. При этом образуется *ванна расплавленного металла*. После отвода источника нагрева металл сварочной ванны кристаллизуется и

образуется *сварной шов*, соединяющий свариваемые части. Сварка – сложный и быстропротекающий физико-химический процесс образования соединения материалов. Подготовка заготовок и продуманная технология делают сварку легкой, быстрой.

Из курса физики нам известно, что состояние любого вещества характеризуется взаимосвязью молекул и атомов. Различают четыре основные состояния материи:

- *твердое*;
- *жидкое*;
- *газообразное*;
- *плазму*.

Твердое тело представляет собой «агрегат» атомов, находящихся во взаимодействии, а его физические характеристики определяются их взаимным расположением (кристаллической решеткой) и химическими связями, действующими между ними.

Соединение сваркой твердых тел можно представить как образование прочных и устойчивых химических связей между атомами соединяемых элементов. Для получения прочного соединения твердых тел необходимо их сблизить до возникновения *межатомных связей*.

В твердом и жидком состоянии расстояние между молекулами и атомами очень мало. Этим объясняется малая сжимаемость этих веществ и их общее название – «конденсированное состояние».

В газах расстояние между молекулами значительно больше, поэтому газы сравнительно легко сжимать под воздействием внешнего давления.

Различие в электропроводности твердых, жидких и газообразных веществ также объясняется различием расстояний между атомами и молекулами. В твердых и жидких веществах крайние электроны, далеко отстоящие от ядер своих атомов, легко теряют связь с ядром. Благодаря этому появляются *свободные электроны*, легко перемещающиеся по объему вещества. Такие свободные электроны называются *электронами проводимости* и являются носителями тока в проводниках. В газах электроны притягиваются только к своим ядрам, поэтому при нормальных условиях газы электрический ток не проводят.

Вся история человечества связана с освоением энергии, в частности тепловой энергии. От древнего пламени костра до управления потоками света в лазерном луче – вот история технологии. В таблице 1 приведены данные о плотности потоков тепловой энергии и минимально достижимых площадях нагрева материалов, т. е. *фокусировке потоков энергии в пятно нагрева*.

Таблица 1

Энергетические свойства источников тепла

Источники тепловой энергии	Температура в луче/пламени (°С)
Ацетилено-кислородное пламя	3200
Сварочная дуга	6000
Плазмотрон	10 000 – 30 000
Электронный луч	5000 – 6000

Классификацию сварки можно провести **по степени механизации процессов**. Тогда выделяют сварку: ручную, механизированную (полуавтоматическую), автоматическую.

Ручная сварка производится оператором (сварщиком) с помощью инструмента вручную, без применения механизмов.

Механизированная сварка выполняется оператором при помощи устройства (машины или механизма), подающего электродную проволоку в зону сварки.

Автоматическая сварка осуществляется без участия человека. При этом механизмируются операции по получению сварного шва по заданной программе.

По способу защиты металла различают: сварку в воздухе, в вакууме, в среде защитных газов, под слоем флюса, в пене и т. п.

Общая схема методов сварки плавления (рис. 1) может быть представлена рядом последовательных стадий состояния металла в зоне сварки:

1 – *элементы собраны под сварку* и закреплены в необходимом положении относительно друг друга. Между элементами остается зазор. В зоне стыка полностью отсутствуют химические связи;

2 – на поверхность металла в зоне стыка воздействуют мощным концентрированным потоком тепловой энергии Q . Подведенный тепловой поток нагревает кромки материала выше температуры плавления. Расплавленный металл обеих кромок сливается, образуется общая ванночка из жидкого металла (сварочная ванна). Ванночка удерживается на частично оплавленных кромках. Зазор между заготовками исчезает. Химические связи в жидком металле близки к химическим связям твердого тела, поэтому эту стадию принято называть *образованием физического контакта*;

3 – при прекращении теплового воздействия на кромки свариваемых элементов (выключение источника тепла или перемещение его вдоль кромок) зона сварки охлаждается за счет передачи теплоты вглубь свариваемых элементов и в окружающую среду. Происходит *кристаллизация сварочной ванны с образованием литой структуры шва*, т. е. создание химических связей по сечению свариваемого соединения. Частично оплавленные зерна основного металла на границе сварочной ванны являются основанием для «пристрой-

ки» атомов из жидкости для кристаллизации шва.

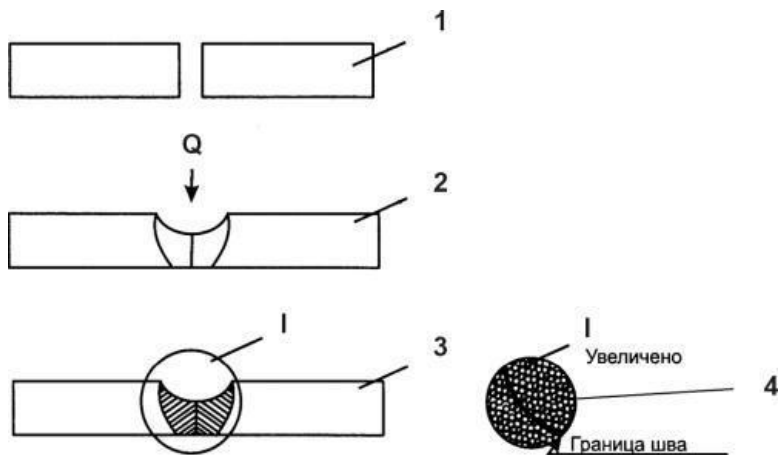


Рис. 1. Схема стадий образования соединения сваркой плавлением:

1 – сборка под сварку;

2 – образование сварочной ванны под воздействием теплоты;

3 – кристаллизация ванны с образованием сварного соединения;

4 – макроструктура зерен на границе шва.

Рассмотрим основные виды сварки плавлением.

Газовая сварка

Газовой сваркой называется сварка плавлением с использованием теплоты горючих газов.

Для плавления металлов используют тепло пламени смеси газов и кислорода, сжигаемых с помощью специальной горелки.

Газовая сварка классифицируется по виду применяемого горючего газа:

- *ацетилено-кислородная сварка;*
- *керосино-кислородная сварка;*
- *бензино-кислородная сварка;*
- *пропанобутано-кислородная сварка.*

Сущность процесса газовой сварки (см. схему газовой сварки, рис. 2) заключается в том, что свариваемый и присадочный металлы расплавляются за счет *тепла пламени* (4) *горелки*. При этом кромки *свариваемых заготовок* (1) расплавляются, а зазор между ними заполняется *присадочным металлом* (2), который вводят в пламя *горелки* (3) извне. В качестве горючих газов применяются природные газы, нефтяные газы, а также водород, ацетилен, пары керосина и бензина и др. Наибольшее распространение получили сварка с использованием ацетилена, паров бензина, паров керосина, пропанобутана.

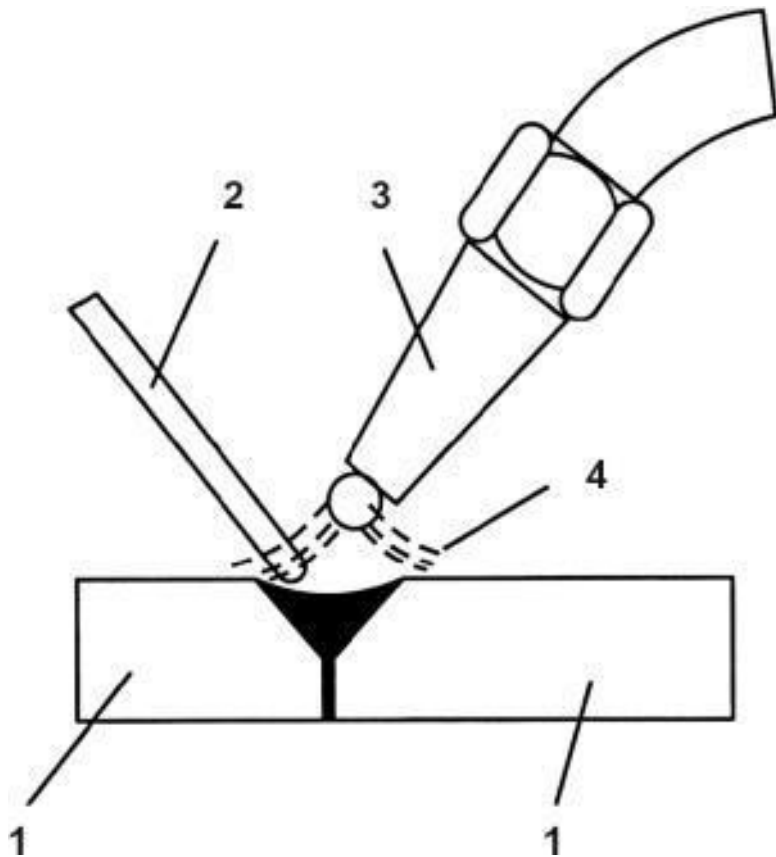


Рис. 2.

Схема газовой сварки

В процессе сварки металл соприкасается с газами пламени, а вне пламени – с окружающей средой (воздухом) или

специально созданной *газовой средой*. В результате металл подвергается значительным изменениям. Наибольшим изменениям подвергается металл, расположенный в зоне сварочной ванны. При этом изменяется содержание примесей и легирующих добавок в металле. Одновременно металл в зоне сварки обогащается кислородом, водородом, азотом, углеродом. Для предотвращения процессов окисления и извлечения из жидкого металла сварочной ванны окислов и неметаллических включений применяются *флюсы*.

Расплавленный металл сварочной ванны представляет сплав основного и присадочного металлов. По мере удаления пламени горелки металл кристаллизуется в остывающей части ванны. Закристаллизовавшийся металл сварочной ванны образует металл шва. Шов имеет структуру литого металла с вытянутыми укрупненными кристаллами, направленными к центру шва.

В настоящее время в промышленности из множества видов газопламенной обработки металлов наибольшее применение получили газовая сварка, газовая пайка, кислородная резка.

Газы, применяемые при газовой сварке, резке и пайке

Кислород (O_2)

При нормальном атмосферном давлении и обычной температуре кислород представляет собой газ без запаха, цвета и вкуса. Он несколько тяжелее атмосферного воздуха. При нормальном атмосферном давлении и температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ масса 1 м^3 кислорода равна $1,33\text{ кг}$. Горючие газы при сгорании с кислородом дают высокую температуру. Сам кислород не горюч, не токсичен, не взрывоопасен, но является сильнейшим окислителем, резко увеличивающим способность других веществ к горению, а при определенных условиях – к взрыву.

В земной атмосфере находится около 20% кислорода. Поэтому кислород получают из атмосферного воздуха на специальных установках методом *ректификации*. Например, на кислородных станциях воздух очищают от пыли, влаги и углекислоты. Далее очищенный воздух сжимается компрессором до высокого давления и охлаждается в теплообменниках до сжиженного состояния. Жидкий воздух разделяют на кислород и азот. Процесс разделения происходит вследствие того, что температура кипения жидкого азота (–

195,8 °С) ниже температуры кипения жидкого кислорода (–182,96 °С). Азот, являясь более легкокипящим, испаряется первым. С помощью кислородного компрессора чистый кислород подают под давлением 15 МПа (150 кгс/см²) в специальные кислородные баллоны. Полученный технический кислород должен соответствовать ГОСТу 5583–78. В зависимости от сорта содержание чистого кислорода колеблется от 99,5 до 99,7 %. Баллоны с кислородом окрашивают в синий цвет с черной надписью «кислород» и используют только для кислорода. Температурный диапазон использования сжатого кислорода от –50 до +30 °С. Запрещается хранение и транспортировка наполненных баллонов при температуре выше 60 °С.

Баллоны возвращают на заполнение с остаточным давлением не ниже 0,05 МПа (0,5 кгс/см²).

Водород (H₂)

Газ без цвета и запаха. В смеси с кислородом водород образует взрывчатую смесь – *гремучий газ*. Водород требует строгого соблюдения правил техники безопасности, т. к. он способен проникать через мельчайшие поры, образуя с воздухом взрывчатые смеси. Водород получают электролизом воды или в специальных водородных генераторах путем воздействия серной кислоты на железную стружку или цинк. Водород хранится и транспортируется в стальных баллонах

при максимальном давлении 15 МПа (150 кгс/см²). Температура его сжижения –253 °С. При сгорании водорода пламя не светится, и его зоны не имеют четких границ.

Пиролизный газ

Пиролизный газ представляет собой смесь газообразных продуктов термического разложения нефти, нефтепродуктов или мазута. Содержит вредные сернистые соединения, которые вызывают коррозию мундштука горелки. Эта смесь пиролизного газа требует тщательной очистки от сернистых соединений.

Нефтяной газ

Нефтяной газ представляет собой смесь горючих газов, являющихся побочным продуктом нефтеперерабатывающих заводов. Его применяют для сварки, резки и пайки сталей толщиной до 3 мм, а также сварки цветных металлов.

Природный газ

Природный газ получают на газовых месторождениях. Природный газ состоит в основном из метана (до 82–93 %). Хранят и транспортируют в баллонах, в сжиженном виде. Для определения утечек в газ добавляют специальные ароматизаторы.

Пропанобутановая смесь

Пропанобутановую смесь получают при добыче и переработке естественных нефтяных газов и нефти. Хранят и транспортируют в сжиженном состоянии в баллонах емкостью 40 или 55 литров при давлении 1,6–1,7 МПа. Жидкой смесью наполняют только половину баллона, т. к. при нагреве смесь значительно расширяется, что может привести к взрыву.

Пропан и бутан тяжелее воздуха и имеют неприятный запах.

Керосин и бензин

При газопламенной обработке металлов керосин или бензин используют в виде паров.

Для этой цели в горелке или в резаке имеются специальные испарители, нагревающиеся от вспомогательного пламени или электрическим током.

Ацетилен

Ацетилен получил наибольшее распространение благодаря таким важным свойствам, как высокая теплотворная способность, высокая температура пламени. Ацетилен представляет собой химическое соединение углерода и водорода

да (C_2H_2). Это бесцветный газ с характерным запахом из-за наличия примесей сероводорода, фтористого водорода и пр. Длительное вдыхание ацетилена вызывает тошноту, головокружение, иногда сильное общее отравление. Ацетилен легче воздуха. Ацетилен относят к взрывоопасным газам. Температура воспламенения лежит в пределах 240–630 °С и зависит от давления и присутствия различных примесей. Ацетилен взрывоопасен при давлении 0,145–0,16 МПа; при нагревании в диапазоне 240–630 °С и при наличии 2–80 % ацетилена в смеси с воздухом; при наличии 2–93 % ацетилена в смеси с кислородом.

Взрыв ацетиленокислородной или ацетиленовоздушной смеси может произойти от искры, пламени или при сильном местном нагреве. Потому ацетилен требует осторожности и строгого соблюдения правил безопасности.

При промышленном способе ацетилен получают воздействием электродугового разряда на жидкое горючее: нефть, керосин. Применяется также способ промышленного производства ацетилена из природного газа метана. Для этого смесь метана с кислородом сжигают в специальных реакторах при температуре 1300–1500 °С. Из полученной смеси газов с помощью растворителя извлекается концентрированный ацетилен. Получение ацетилена промышленным способом на 30–40 % дешевле, чем получение его из карбида кальция. Ацетилен, полученный промышленным способом, закачивают в баллоны, где он находится в порах специальной

массы, растворенной в ацетоне.

Рабочее давление сжатого ацетилена не должно превышать 1,9 МПа (19 кгс/см²).

Остаточное давление в наполненном баллоне при температуре 20 °С должно быть в пределах 0,05–0,1 МПа (0,5–1,0 кгс/см²). Для сохранности наполнительной массы запрещается отбирать ацетилен из баллона со скоростью более 1700 дм³/час.

Ацетилен также получают из карбида кальция в специальных генераторах путем взаимодействия его с водой. Потребительские свойства ацетилена не зависят от способа получения. Карбид кальция получают путем сплавления кокса и обожженной извести в электродуговых печах при температуре 1900–2300 °С. Расплавленный карбид кальция сливают из печи в формы-изложницы, где происходит его остывание. После дробления карбид кальция сортируют на куски размером 2–80 мм. Карбид кальция очень активно впитывает влагу из воздуха, поэтому его хранят и транспортируют в герметически закрытой таре: барабанах или банках из кровельной жести по 40/100/130 кг.

Из 1 кг карбида кальция получают 235–280 литров ацетилена. Теоретически на 1 кг карбида кальция необходимо 0,56 литра воды. Практически берут 5–20 литров воды для охлаждения газогенератора и безопасной работы. Запрещается для исключения взрыва использовать мелкий и пыле-

видный карбид кальция.

В таблице 2 приведены характеристики газов, применяемых для газовой сварки.

Таблица 2

Характеристики газов, применяемых для газовой сварки

Химическая формула	H_2	CH_4	C_3H_8 и C_4H_{10}	C_2H_4	C_3H_{12}	C_6H_6	C_2H_2
Наименование	Водород	Метан	Пропан	Этилен	Бензин	Бензол	Ацетилен
Содержание водорода, вес %	100,0	25,0	18,0	14,5	14,5	7,8	7,8
Содержание углерода, вес %	0,0	75,0	82,0	85,5	85,5	92,2	92,2
Теплота сгорания, кал/м ³	2570	9600	21000	15000	—	—	14000
Максимальная температура в смеси с кислородом, °С	2350	2200	2300	2500	2600	2800	3300

Материалы и оборудование для газопламенной обработки металлов:

- кислород и горючий газ в специальных баллонах или генератор для его получения;
- аппаратура управления (редукторы, манометры);
- сварочные горелки или резаки в комплектах со шлангами для подачи газов;
- присадочная проволока для сварки или наплавки;

- очки-светофильтры с затемненными стеклами;
- набор инструментов: молоток, набор ключей для баллонов и горелок, стальные щетки, костюм для сварщика и перчатки;
- сварочный стол или приспособления для сборки и фиксации деталей;
- инструменты для измерения и разметки;
- средства пожаротушения.

Достоинства газовой сварки:

- простота и дешевизна оборудования;
- дешевые расходные материалы;
- простой способ регулирования процесса горения;
- маневренность в применении (любое положение горелки в пространстве);
- высокая технологичность использования;
- энергонезависимость от источников питания.

Недостатки газовой сварки:

- низкая эффективность нагрева;
- широкие швы и широкая зона термического влияния;
- относительно низкая производительность труда;
- трудность автоматизации процесса.

Электрическая дуговая сварка

Источником теплоты при дуговой сварке служит электрическая дуга, которая горит между электродом и заготовкой. В зависимости от материала и числа электродов, а также способа включения электродов и заготовки в цепь электрического тока различают следующие способы дуговой сварки:

- *по применяемым электродам* – дуга с плавящимся и неплавящимся электродом;
- *по степени сжатия дуги* – свободная и сжатая дуга;
- *по схеме подвода сварочного тока* – дуга прямого и косвенного действия;
- *по роду тока* – дуга постоянного и переменного тока;
- *по полярности тока* – дуга на прямой полярности и дуга на обратной стороне полярности;
- *по виду статистической вольт-амперной характеристики* – дуга с падающей, возрастающей или жесткой характеристикой;
- *по способу защиты сварного шва* – в среде защитного газа или под слоем флюса.

Сварочной дугой называют устойчивый длительный разряд электрического тока в газовой среде между находящимися под напряжением твердыми или жидкими проводниками (электродами) либо между электродом и изделием.

Сварочная дуга существует при токах от десятых долей

ампера до сотен ампер. Дуга характеризуется высокой плотностью тока в электропроводном газовом канале, выделением большого количества тепловой энергии и сильным световым эффектом.

Разряд является концентрированным источником теплоты и используется для расплавления металла при сварке. Дуговой разряд тока происходит в ионизированной атмосфере газов и паров металла. Ионизация дугового промежутка происходит во время зажигания дуги и непрерывно поддерживается в процессе ее горения.

Электрические заряды в сварочной дуге переносятся положительно и отрицательно заряженными частицами. Отрицательный заряд несут электроны, а положительный и отрицательный заряды – ионы. Процесс, при котором в газе образуются положительные и отрицательные ионы, называется *ионизацией*, а газ называется ионизированным.

Газы, в том числе и воздух, при нормальных условиях не проводят электрического тока. Это объясняется тем, что при нормальных условиях, т. е. при нормальном атмосферном давлении и температуре воздуха 20 °С, воздушная среда состоит из нейтральных молекул и атомов, которые не являются носителями зарядов. Эти молекулы и атомы станут электропроводными в том случае, если в своем составе будут иметь электроны, которые возникают при воздействии на них электрического тока.

Для возникновения электропроводности газов они долж-

ны быть ионизированы.

Ионизацией молекулы (атома) называется отщепление одного или нескольких электронов и превращение молекулы (атома) в положительный ион. Если молекулы (атомы) присоединяют к себе электроны, то возникают отрицательные ионы.

Ионизация газа вызывается внешними воздействиями:

- достаточным повышением температуры;
- воздействием различных излучений;
- действием космических лучей;
- бомбардировкой молекул (атомов) газа быстрыми электронами или ионами.

Обратный ионизации процесс, при котором электроны, присоединяясь к положительному иону, образуют нейтральную молекулу (атом), называется *рекомбинацией*.

При обычных температурах ионизацию можно вызвать, придав уже имеющимся в газе электронам и ионам при помощи электрического поля большие скорости. Обладая большой энергией, эти частицы могут разбивать нейтральные атомы и молекулы на ионы. Кроме того, ионизацию можно вызвать, воздействуя световыми, ультрафиолетовыми, рентгеновскими лучами, радиоактивным излучением.

Однако, исходя из практической точки зрения и в целях безопасности использования, применяют другие способы ионизации.

Так как в металлах имеется большая концентрация сво-

бодных электронов, то можно извлечь эти электроны из объема металла. Существует несколько способов извлечения электронов из металла.

Для сварки электрической дугой имеют значение два способа:

- *термоэлектронная эмиссия*, при которой происходит «испарение» свободных электронов с поверхности металла благодаря высокой температуре. Чем выше температура, тем большее число свободных электронов приобретает энергию, достаточную для преодоления потенциального барьера в поверхностном слое и выхода из металла.

- *автоэлектронная эмиссия*. При автоэлектронной эмиссии извлечение электронов из металла производится при помощи внешнего электрического поля. Приложенное внешнее электрическое поле изменяет потенциальный барьер у поверхности металла и облегчает выход электронов, имеющих большую энергию и могущих преодолеть этот барьер.

Ионизацию, вызванную в некотором объеме газовой среды, принято называть *объемной ионизацией*. Объемная ионизация, полученная благодаря нагреванию газа до очень высоких температур, называется *термической ионизацией*.

При высоких температурах газа значительная часть молекул обладает достаточной энергией для того, чтобы при столкновениях могло произойти разбиение нейтральных молекул на ионы. Кроме того, с повышением температуры общее число столкновений между молекулами увеличивается.

При очень высоких температурах в процессе ионизации заметную роль играет излучение от электродов и излучение от газа.

Прохождение электрического тока через газы называется *электрическим разрядом*.

Дуговой разряд является одним из видов электрического разряда.

Существуют и другие виды электрического разряда в газах:

- *искровой кратковременный разряд*, который происходит при мощности источника питания, недостаточной для поддержания устойчивого дугового разряда;
- *коронный разряд*, возникающий в неоднородных электрических полях и проявляющийся в виде свечения ионизированного газа;
- *тлеющий разряд*, который возникает при низких давлениях газа (например, в газосветных трубках).

Для сварки металлов применяется, в основном, электрическая дуга прямого действия, т. е. используется дуговой разряд между изделием и электродом. В такой дуге одним электродом является металлический или угольный стержень, а вторым – свариваемое изделие.

К электродам подводится питание – электрический ток. Ток вырабатывается специальным устройством – *источником питания*. Источники питания вырабатывают переменный или постоянный ток. В дуге выделяют несколько обла-

стей (рис. 3):

- 1 – катод;
- 2 – катодная область;
- 3 – столб дуги;
- 4 – анодная область;
- 5 – анод.

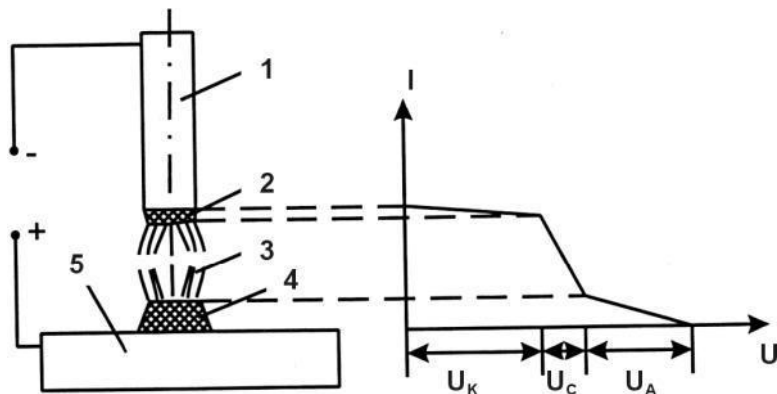


Рис. 3. Основные области электрической дуги и распределение потенциала в дуге

Каждая из выделенных областей отличается своими физическими явлениями, протекающими в ней. Участки, непосредственно примыкающие к электродам, называют, соответственно, *анодной* и *катодной областями*. Положительный электрод – анод, а отрицательный электрод – катод. Длина анодной и катодной областей очень мала – от нескольких

длины свободного пробега нейтральных атомов в катодной области – 1×10^{-5} см и до длины свободного пробега электрона в анодной области – 1×10^{-3} см. Между этими областями располагается наиболее протяженная высокотемпературная область (0,05–0,5 см) разряда – *столб дуги*.

Распределение электрического потенциала по длине дуги неравномерное. Возле электродов имеют место скачки падения потенциалов, вызванные условиями прохождения электрического тока на границе между ионизированным газом и металлическими электродами. Дуговой разряд обязан своим существованием процессам на катоде. Катод является «поставщиком» электронов. Причины выхода электронов – в существовании термоэлектронной и автоэлектронной эмиссии, упоминавшейся выше.

Электроны, эмитированные из катода, ускоряются под действием электрического поля. На внешней границе катода электроны сталкиваются с молекулами и атомами газа, находящегося в межэлектродном пространстве. При *упругих* столкновениях при попадании электронов в молекулы повышается температура газа. При *неупругих* столкновениях электроны, передавая частицам энергию, производят ионизацию газа.

В результате интенсивной термической ионизации столб дуги представляет собой ионизированный газ, состоящий из электронов и ионов – *плазму*. Под действием приложенного электрического поля электроны движутся к аноду, а положи-

тельно заряженные ионы – к катоду.

В результате интенсивной бомбардировки поверхностей электродов ионами и электронами происходит мгновенное разогревание металла. При этом 43–43 % общей подводимой мощности выделяется на аноде, 36–38 % выделяется на катоде, 20–21 % мощности уходит в окружающую среду через излучение и конвекцию паров и газов, а остальные потери мощности – на разбрызгивание и угар свариваемого металла. При сварке, как правило, анодом служит свариваемая деталь.

При сварке угольным электродом температура в катодной области достигает 3200 °С, в анодной области 3900 °С. При сварке металлическим электродом температура катодной области составляет 2400 °С, а анодной – 2600 °С. В столбе дуги температура достигает 6000–7000 °С.

Различная температура анодной и катодной областей используется для решения технологических задач. Например, при сварке тонколистовых металлов катодом является сама деталь, а анодом – электрод.

Зажигание (возбуждение) и горение электрической дуги

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

- короткое замыкание электрода на заготовку;

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

Короткое замыкание (рис. 4а) выполняется для разогрева торца электрода 1 и заготовки 2 в зоне контакта с электродом. После отвода электрода (рис. 4б) с его разогретого торца (катода) под действием электрического поля начинается термоэлектрическая эмиссия электронов 3.

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

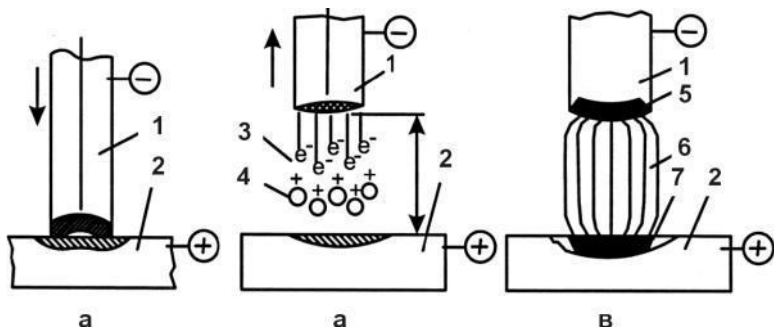


Рис. 4.

Схема процесса зажигания дуги

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

В зависимости от длины дугового разряда различают:

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

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

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

Различают *технологические условия горения дуги*, такие как зажигание, чувствительность к изменениям длины в определенных пределах, быстрое повторное зажигание по-

сле обрыва и необходимое проплавление металла.

Условия зажигания электрической дуги:

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

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

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

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

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

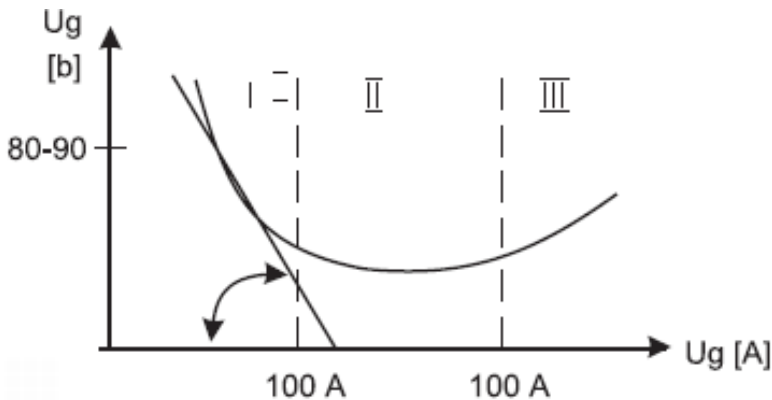


Рис. 5.

Статическая вольт-амперная характеристика дуги

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

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

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

Материалы и оборудование для производства работ электродуговой сваркой:

- источник питания сварочной дуги;
- сварочный и питающий кабели, электрододержатель;
- принадлежности сварщика – спецкостюм, маска с защитным стеклом;
- сварочный стол или приспособления для сборки и фиксации деталей;
- инструменты для измерения и разметки;
- инструменты для зачистки швов и удаления шлаковой корки;
- средства пожаротушения.

Преимущества электродуговой сварки:

- высокая технологичность процесса;
- возможность автоматизации и механизации процессов сварки;
- меньшая по сравнению с газовой сваркой зона термического влияния;
- простота регулирования процесса сварки;
- дешевые расходные материалы (электроды);
- высокая скорость соединения деталей.

Недостатки электродуговой сварки:

- необходимость использования специальных сварочных трансформаторов или инверторов (преобразователей);
- энергозависимость (необходима электрическая сеть или генераторы);
- подготовка деталей для сборки (разделка кромок, фиксация элементов).

Электрошлаковая сварка (ЭШС)

При электрошлаковой сварке основной и электродный металлы расплавляются теплотой, выделяющейся при прохождении электрического тока через шлаковую ванну. Шлак представляет собой расплавленный, обладающий электропроводностью флюс. Процесс электрошлаковой сварки (рис. 6) начинается с образования *шлаковой ванны* (4) в пространстве между *кромками основного металла* (1) и *формирующими устройствами* (3) типа ползунов или пластин, охлаждаемыми водой, путем расплавления флюса электрической дугой, возбуждаемой между *сварочной проволокой* (2) и *вводной планкой* (6).

После накопления определенного количества жидкого шлака дуга шунтируется шлаком и гаснет, а подача проволоки и подвод тока продолжают. При прохождении тока через расплавленный шлак, являющийся токопроводящим электролитом, в нем выделяется теплота, достаточная для поддержания высокой температуры шлака – до 2000 °С и расплавления основного металла и электродной проволоки. За счет разницы в плотности электродный металл (плотность жидкого металла значительно больше плотности компонентов шлака) опускается на дно расплава, образуя *металлическую ванну* (5), а расплавленный флюс находится в верхней части расплава, образуя *шлаковую ванну* (4).

Шлаковая ванна, находясь сверху, защищает жидкий металл от окисления воздухом.

В начальном и конечном участках образуются дефекты. В начале шва – *непровар кромок*, а в конце шва – *усадочная раковина и неметаллические соединения*.

Наиболее экономически выгодным является применение электрошлаковой сварки при изготовлении толстостенных конструкций в тяжелом машиностроении, для изготовления ковано-сварных и лито-сварных конструкций, таких как станины и детали мощных прессов и станков, коленчатые валы судовых двигателей, роторы и валы гидротурбин, котлы высокого давления.

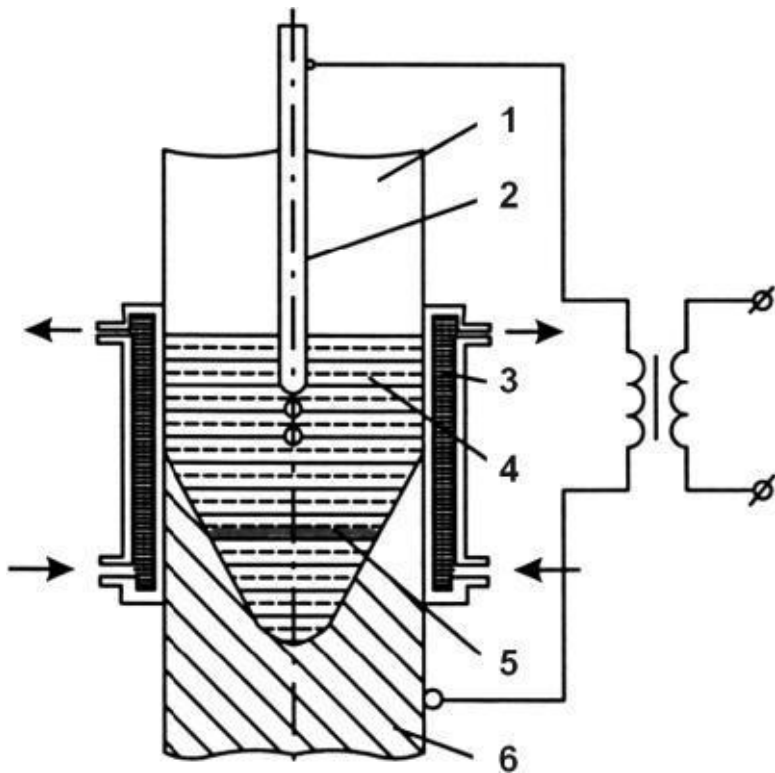


Рис. 6.

Схема процесса электрошлаковой сварки:

1 – кромки основного металла;

2 – сварочная проволока;

3 – формирующиеся устройства;

4 – шлаковая ванна;

5 – металлическая ванна;

б – водная планка.

Технологические возможности ЭШС позволяют сваривать детали толщиной от 30–40 до 3000 мм. Для сварки используют проволоку, плавящиеся мундштуки, пластинчатые электроды, ленточные электроды. В качестве источников питания применяют специальные сварочные трансформаторы с жесткой внешней характеристикой, напряжением 30–55 В и токами от 50 А до 3000 А.

Аппараты для ЭШС условно разделяют на следующие типы:

- рельсовые аппараты, перемещающиеся по направляющим рельсам;
- безрельсовые аппараты, перемещающиеся непосредственно по изделию;
- аппараты подвесного типа, не имеющие ходового механизма, что делает их простыми и портативными.

Оборудование, необходимое для ЭШС:

- специальные сварочные аппараты;
- аппаратные шкафы;
- аппараты для подачи электродной проволоки или ленты;
- устройства для формирования сварочного шва;

- устройства фиксации и перемещения изделий.

Преимущества ЭШС:

- возможность получения за один проход сварных соединений практически любой толщины, от 25 и до 3000 мм;
- отсутствие необходимой специальной подготовки кромок свариваемых деталей;
- расход флюса в десятки раз меньший, чем при обычной электродуговой сварке;
- возможность применения электродов самой различной формы;
- улучшенная макроструктура шва (высокая однородность металла сварной ванны);
- высокая производительность процесса;
- сокращенный расход электроэнергии;
- малая зависимость зазора между соединяемыми деталями от толщины свариваемого металла и отсутствие подрезов;
- использование ЭШС для переплавки стали из отходов и получения отливок;
- возможность регулирования процесса при токах сварки от $0,2 \text{ А/мм}^2$ и до 300 А/мм^2 по сечению электрода;
- надежная защита сварочной ванны от воздуха;
- возможность получения за один проход швов переменной толщины.

Недостатки ЭШС:

- возможность сварки только в вертикальном или почти вертикальном положении свариваемых плоскостей (с отклонением от вертикали не более 30°);
- высокая степень перемешивания основного и электродного металлов;
- наличие крупнозернистой структуры в металле шва и в переходной зоне;
- необходимость изготовления и установки перед сваркой технологических деталей (планки, формирующие устройства, стартовые карманы);
- недопустимость остановки электрошлакового процесса до окончания сварки, т. к. при этом образуются неустраняемые дефекты.

Электронно-лучевая сварка (ЭЛС)

Электронно-лучевая сварка основана на использовании энергии, высвобождаемой при торможении потока ускоренных электронов в свариваемых материалах.

Преобразование кинетической энергии электронов в тепловую энергию характеризуется высоким к.п.д. При электронно-лучевой сварке в качестве источника нагрева используется поток электронов, движущихся в высоком вакууме. Для сварки необходимо получить свободные электроны, сконцентрировать их и сообщить им скорость с целью увеличения энергии. Электронный луч, используемый для нагрева металла при сварке, создается в специальном приборе – *электронной пушке*.

Электронная пушка (рис. 7, 8) представляет собой устройство, с помощью которого получают электронные пучки с малым диаметром пятна и высокой плотностью энергии в нем. Пушка имеет *катод* (1), который нагревается до рабочей температуры с помощью нагревателя. Катод размещен внутри *прикатодного электрода* (2). На некотором расстоянии от катода находится *ускоряющий электрод* (3) с отверстием – анод. Прикатодный и ускоряющий электроды имеют форму, обеспечивающую такое строение электрического поля между ними, которое фокусирует электроны в пучок диаметром $d_{кр}$, равным диаметру отверстия в аноде. Положи-

тельный потенциал ускоряющего электрода может достигать нескольких десятков киловольт, поэтому электроны, эмитированные катодом, на пути к аноду приобретают значительную скорость и энергию.

После ускоряющего электрода электроны движутся равномерно. Электроны имеют одинаковый заряд, поэтому они отталкиваются друг от друга. Вследствие этого диаметр пучка увеличивается, а плотность энергии в пучке уменьшается.

Для увеличения плотности энергии в пучке после выхода электронов из анода их фокусируют магнитным полем в специальной *магнитной линзе* (4). Сфокусированный поток электронов, попадая на поверхность свариваемых кромок, тормозится. При этом кинетическая энергия превращается в теплоту, идущую на разогрев *металла* (6) при сварке. Для перемещения луча по поверхности свариваемого изделия на пути электронов помещают *магнитную отклоняющую систему* (5), позволяющую устанавливать электронный луч точно по линии стыка свариваемых кромок.

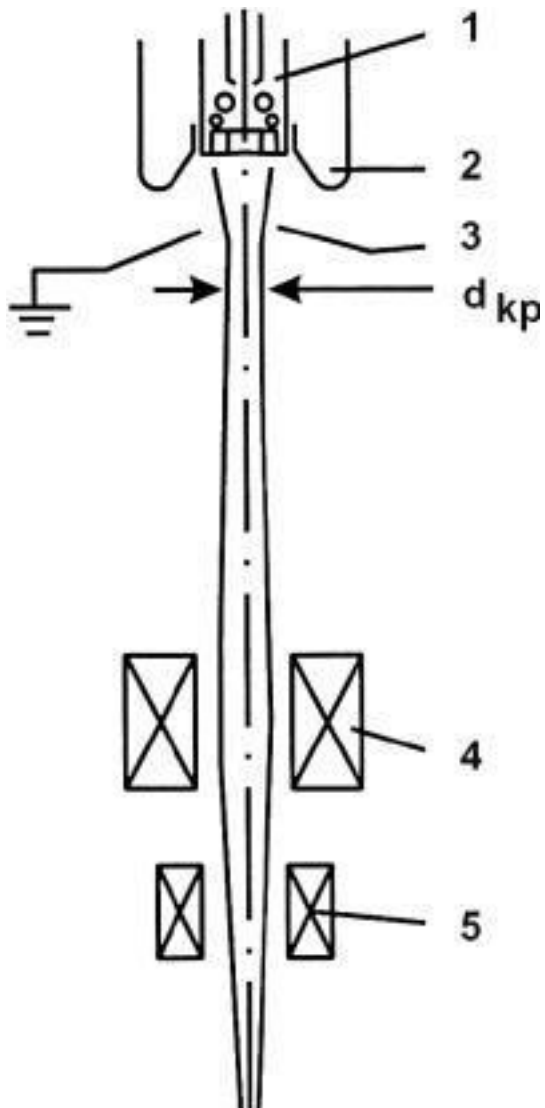


Рис. 7.

Схема устройства формирования электронного луча

Для обеспечения свободного движения электронов от катода к аноду и далее к изделию, для предотвращения «отравления» катода, а также для устранения возможности возникновения дугового разряда между электродами в камере электронно-лучевой установки создается высокий вакуум – примерно 10–4 мм рт. ст.

Движение электронов в вакууме не сопровождается световыми эффектами, и потому луч не виден, но место воздействия луча на свариваемый материал можно наблюдать по свечению металла за счет его разогрева.

Электронно-лучевая сварка позволяет сваривать тугоплавкие металлы, которые обычными методами не свариваются, например вольфрам, молибден, ниобий, тантал.

Высокая концентрация теплоты в пятне фокуса позволяет сверлить лучом такие материалы, как сапфир, рубин, алмаз, стекло.

Незначительная ширина зоны теплового воздействия дает возможность резко уменьшить деформацию заготовок. Кроме того, за счет вакуума в камере обеспечиваются зеркальная поверхность соединения и дегазация расплавленного металла.

Малый объем литого металла и кратковременность теплового воздействия обеспечивают незначительные термиче-

ские деформации свариваемых деталей, что позволяет выполнять сварные швы вблизи металлокерамических и металлоглазанных спаев, чувствительных к термоударам.

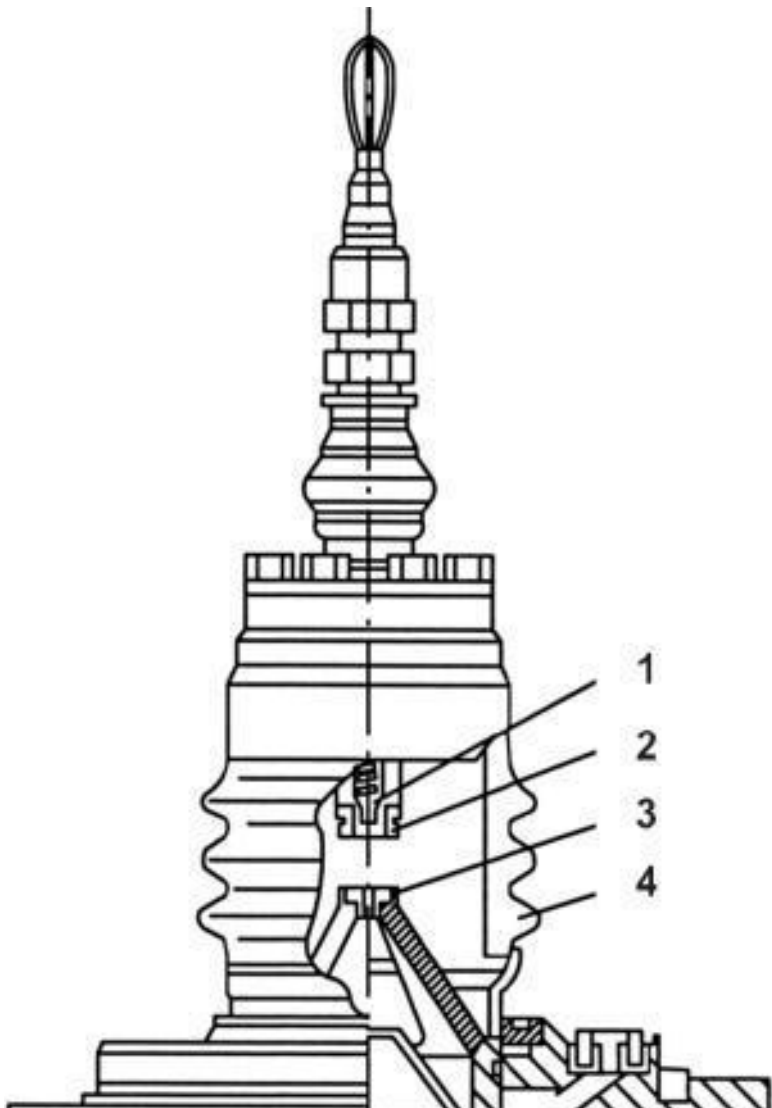


Рис. 8.

Конструкция современной сварочной электронно-лучевой пушки:

1 – катод; 2 – управляющий электрод;

3 – анод; 4 – изолятор;

5 – фокусирующая линза.

Электронно-лучевые пушки можно разделить на типы:

- низковольтные пушки с ускорением электронов до энергии 20–30 кэВ;
- с промежуточным ускоряющим напряжением – 30–100 кэВ;
- высоковольтные пушки с энергией ускорения 100–200 кэВ.

Оборудование для ЭЛС:

- высоковольтный выпрямитель;
- стабилизатор ускоряющего напряжения;
- блок накала катода;
- модулятор;
- источник питания электромагнитных линз;
- электронно-лучевая пушка;
- вакуумная камера с вакуумной системой и люками за-

грузки;

- механизмы перемещения свариваемых деталей.

Преимущества ЭЛС:

- высокий к.п.д. установок ЭЛС, т. к. до 99 % кинетической энергии электронов, используемой для нагрева свариваемых деталей, переходит в тепловую энергию;
- температура в зоне сварки достигает 5000–6000 °С;
- при сварке электронным лучом теплота выделяется только в зоне сварки;
- за счет более интенсивного выделения теплоты в глубине зоны сварки получается кинжальное проплавление с отношением глубины к ширине до 20:1;
- высокая удельная мощность луча до 5–105 Вт/см² и выше;
- фокусировка луча до диаметра 0,001 см;
- электронный луч используют для сварки, сверления, фрезерования практически любых современных материалов;
- широкий диапазон толщин заготовок (от 0,02 до 100 мм);
- высокая степень автоматизации сварочного процесса.

Недостатки ЭЛС:

- наличие специального оборудования требует подготовки высококвалифицированных кадров;
- наличие рентгеновского излучения при взаимодействии электронного луча со свариваемым материалом требует защиты оператора;
- высокая температура накала катода до 1700–2400 °С снижает срок службы катодов.

Плазменная сварка

Плазма (от греч. plasma, букв. – вылепленное, оформленное) – частично или полностью ионизированный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы.

Термин «плазма» ввели в 1929 г. И. Ленгмюр и Л. Тонкс. Большой вклад в развитие учения о плазме внесли советские ученые – Л. Д. Ландау, А. А. Власов, А. Д. Сахаров, американские ученые И. Е. Тамм, Л. Спитцер.

Современные ученые выделяют плазму как четвертое состояние вещества, наряду с газом, жидкостью и твердыми телами. В состоянии плазмы находится большая часть вещества Вселенной – звезды, звездные атмосферы, межзвездная среда. Около Земли плазма существует в виде солнечного ветра, проявления которого мы наблюдаем в виде полярных сияний.

При сильном нагревании любое вещество испаряется, превращаясь в газ. Если увеличивать температуру и дальше, резко усилится процесс *термической ионизации*, т. е. молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые затем превратятся в ионы. Ионизация газа, кроме того, может быть вызвана его взаимодействием с электромагнитным излучением (фотоионизация) или бомбардировкой газа заряженными частицами.

Свободные заряженные частицы, особенно электроны, легко перемещаются под действием электрического поля. Поэтому в состоянии равновесия пространственные заряды входящих в состав плазмы отрицательных электронов и положительных ионов должны компенсировать друг друга так, чтобы полное поле внутри плазмы было равно нулю. Именно отсюда вытекает необходимость практически точного равенства плотностей электронов и ионов в плазме – ее квазинейтральности. Нарушение квазинейтральности плазмы в объеме, ею занимаемом, ведет к немедленному появлению сильных электрических полей пространственных зарядов, тут же восстанавливающих квазинейтральность.

Принято выделять два типа плазмы:

- низкотемпературная плазма с температурой внутри её ниже 105 К;
- высокотемпературная плазма с температурой выше 106–108 К.

На сегодняшний день плазму получают следующими способами:

- электрическим разрядом в газах (дуговой, искровой, тлеющий);
- в процессах горения и взрыва.

Плазма обладает так называемыми *коллективными процессами*. Ее можно рассматривать как упругую среду, в которой легко возбуждаются и распространяются различные шумы, колебания и волны. Причем плазма обладает наличием

собственных колебаний и волн. Таким образом, плазма резко отличается от газов. Например, электропроводность полностью ионизированной плазмы превосходит электропроводность серебра. Поэтому плазму можно рассматривать как идеальный проводник.

Плазменная технология подразумевает различные методы обработки и получения материалов с использованием плазменной струи или плазменной дуги.

Наиболее широкое распространение получили атмосферные (при нормальном давлении) плазменные методы обработки материалов – резание, напыление, наплавка, сварка, выращивание монокристаллов.

В 1980-х годах эффективное развитие получили *ионно-плазменные технологии*. Процессы обработки материалов с помощью ионно-плазменной технологии реализуются в вакууме с помощью плазменных ускорителей. Благодаря этому удается наносить сверхтвердые, жаростойкие, коррозионно-стойкие покрытия.

Плазму получают в специальных устройствах – плазмотронах. *Плазмотрон* – устройство для создания плотной (с давлением порядка атмосферного) низкотемпературной плазмы (до 104 К) с помощью электрического разряда в газах, дающее плазменный поток.

Принцип работы плазмотрона заключается в следующем: холодный газ непрерывным потоком продувают через область, где горит стационарный разряд. Газ нагревается, иони-

зируется, превращается в плазму, которая истекает в виде плазменной струи.

На практике применяют следующие виды плазмотронов, работающих:

- *на дуговом разряде;*
- *пеннинг-разряде;*
- *ВЧ и СВЧ-разрядах (высоко– и сверхвысокочастотных);*
- *с ионизацией газа электронным пучком;*
- *фокусировкой оптического разряда с помощью лазера.*

Наибольшее практическое применение получили плазмотроны на дуговом электрическом разряде. Дуговой плазмотрон может работать на постоянном или переменном токе. Мощность дуговых плазмотронов – от 10^2 до 10^7 Вт.

Температура на срезе сопла – $3000\text{--}20\,000$ °С. Скорость истечения струи $1\text{--}10^4$ м/с, промышленный к.п. д – $50\text{--}90$ %.

Плотность тока в плазмотронах достигает 100 А/мм².

В качестве плазмообразующего газа используют *аргон* (температура плазмы – $15000\text{--}30000$ °С), азот (температура плазмы – $10000\text{--}15000$ °С) или *смесь газов*

Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.