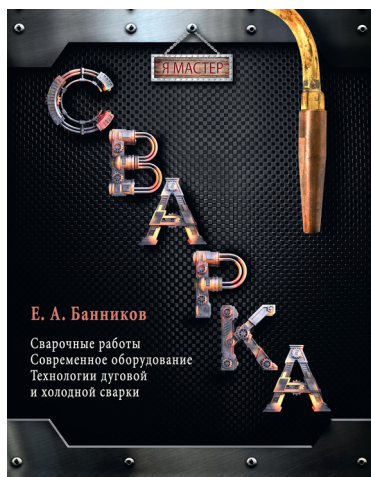




Евгений Анатольевич Банников
Сварка
Серия «Я мастер»

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	9
Классификация видов сварки плавлением	9
Газовая сварка	12
Газы, применяемые при газовой сварке, резке и пайке	13
Кислород (O ₂)	13
Водород (H ₂)	13
Пиролизный газ	14
Нефтяной газ	14
Природный газ	14
Пропанобутановая смесь	14
Керосин и бензин	14
Ацетилен	14
Материалы и оборудование для газопламенной обработки металлов:	15
Достоинства газовой сварки:	16
Недостатки газовой сварки:	16
Электрическая дуговая сварка	17
Зажигание (возбуждение) и горение электрической дуги	20
Материалы и оборудование для производства работ электродуговой сваркой:	22
Преимущества электродуговой сварки:	22
Недостатки электродуговой сварки:	22
Электрошлаковая сварка (ЭШС)	23
Аппараты для ЭШС условно разделяют на следующие типы:	24
Оборудование, необходимое для ЭШС:	24
Преимущества ЭШС:	24
Недостатки ЭШС:	25
Электронно-лучевая сварка (ЭЛС)	26
Электронно-лучевые пушки можно разделить на типы:	28
Оборудование для ЭЛС:	28
Преимущества ЭЛС:	29
Недостатки ЭЛС:	29
Плазменная сварка	30
Оборудование для плазменно-дуговой сварки, резки, напыления:	32
Преимущества плазменной технологии:	32
Недостатки плазменной технологии:	34
Лазерная сварка	35
Оборудование для лазерной сварки и резки:	38
Преимущества лазерной технологии:	39
Недостатки применения лазеров:	40
Термитная сварка	41
Преимущества термитной сварки:	41
Недостатки термитной сварки:	41

Глава 2	42
Классификация видов сварки давлением	42
Холодная сварка	43
Холодная точечная сварка (сварка внахлестку)	45
Холодная шовная сварка	49
Холодная сварка встык	50
Достоинства холодной сварки:	50
Недостатки холодной сварки:	51
Сварка взрывом	52
Параметры сварки взрывом:	53
Достоинства сварки взрывом:	53
Недостатки сварки взрывом:	53
Сварка трением	55
Основные технологические параметры сварки трением:	55
Преимущества стыковой сварки:	56
Недостатки сварки трением:	56
Ультразвуковая сварка	57
Достоинства сварки ультразвуком:	60
Недостатки сварки ультразвуком:	61
Глава 3	62
Классификация видов термомеханической сварки	62
Электроконтактная сварка	63
По типу сварного соединения различают:	64
По роду сварочного тока выделяют контактную сварку:	64
Стыковая контактная электросварка	66
Точечная контактная электросварка	67
Основные технологические параметры точечной сварки:	68
Шовная (роликовая) контактная электросварка	69
Диффузная сварка	70
Основные технологические параметры диффузной сварки:	71
Процесс сварки с помощью диффузного соединения условно разделяют на две стадии:	72
Оборудование для диффузной сварки:	72
Преимущества диффузной сварки:	72
Недостатки диффузной сварки:	72
Газопрессовая сварка	73
Дугопрессовая сварка	75
Сварка аккумулированной энергией	76
Преимущества конденсаторной сварки:	77
Глава 4	79
Кристаллическое строение металлов	81
Кристаллическое строение и кристаллизация сплавов	82
Конец ознакомительного фрагмента.	83

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, быстроте 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 микросхем. 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, упругопластической 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 (диффузная 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 пытался 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. Володина 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 вагоностроения. 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 основных 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 явля-

ются 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 (°C)
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 «пристройки» атомов из жидкости для кристаллизации шва.

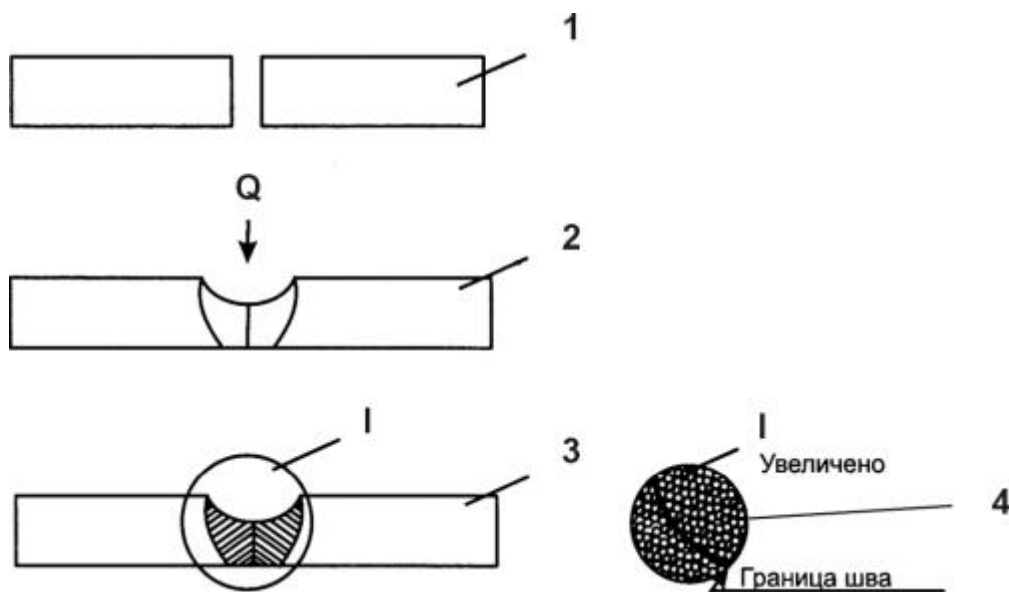


Рис. 1. Схема стадий образования соединения сваркой плавлением:

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.

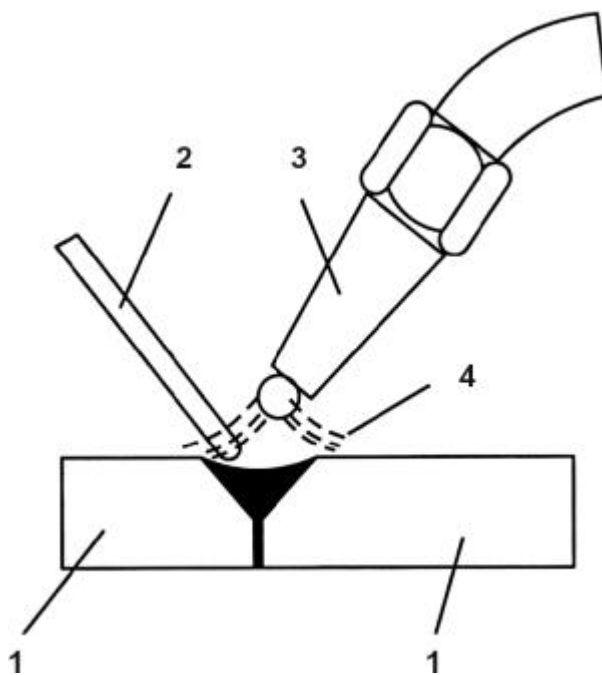


Рис. 2.

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 °С масса 1 м³ кислорода равна 1,33 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 (H_2)

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 резке 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 (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 про-

изводства 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 пылевидный 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 ₃ H ₈ и C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₄	C ₆ H ₁₂	C ₆ H ₆	C ₂ H 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 должны 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 свободных 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 извне 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 областей (рис. 3):

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

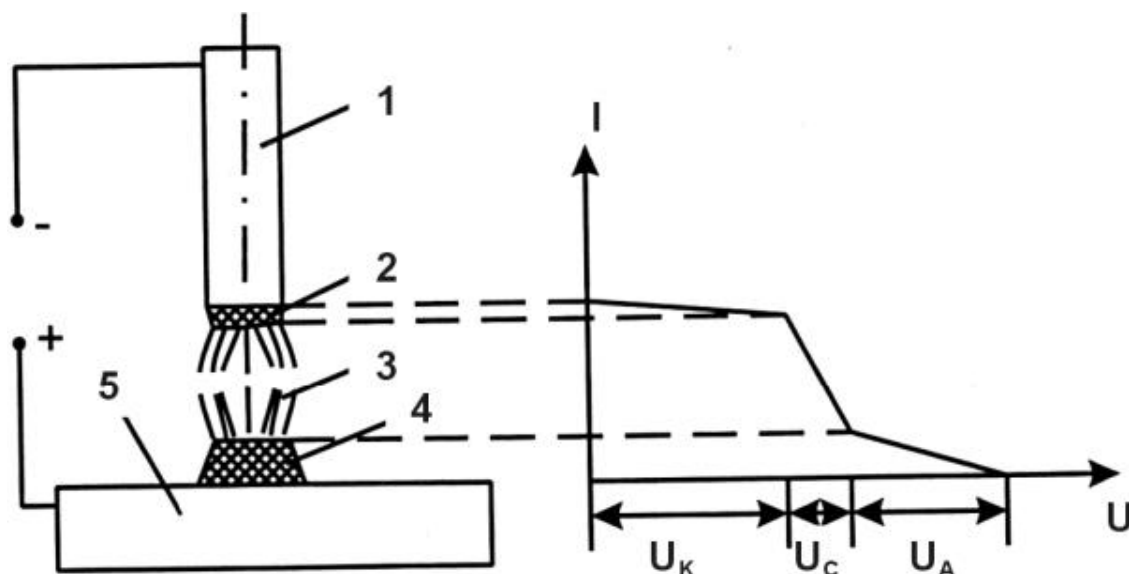


Рис. 3. Основные области электрической дуги и распределение потенциала в дуге

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 длин 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 положительно 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°C , в анодной области 3900°C . При сварке металлическим электродом температура катодной

области составляет 2400°C , а анодной – 2600°C . В столбе дуги температура достигает $6000\text{--}7000^{\circ}\text{C}$.

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*.

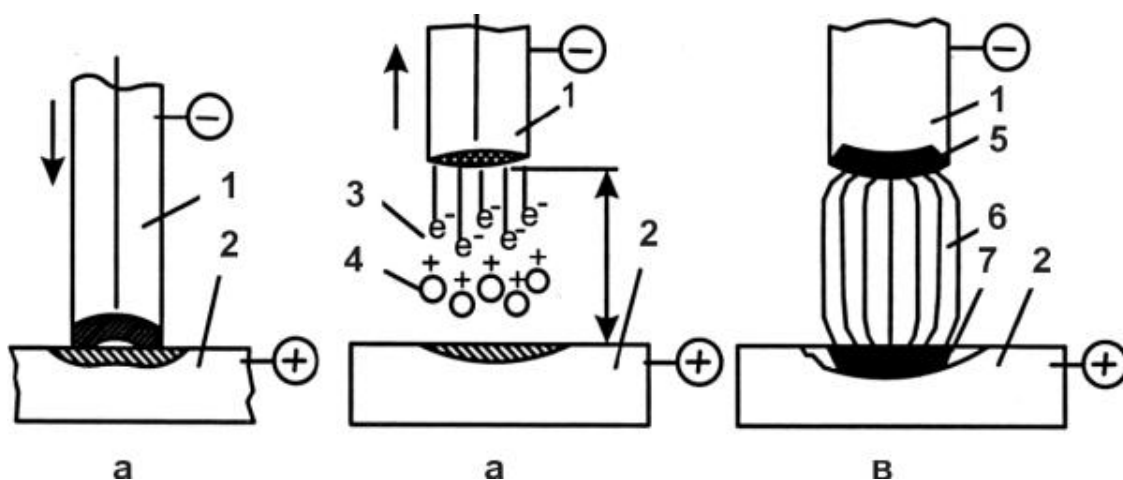


Рис. 4.

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 после обрыва и необходимое проплавление металла.

Условия зажигания электрической дуги:

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

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

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

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

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

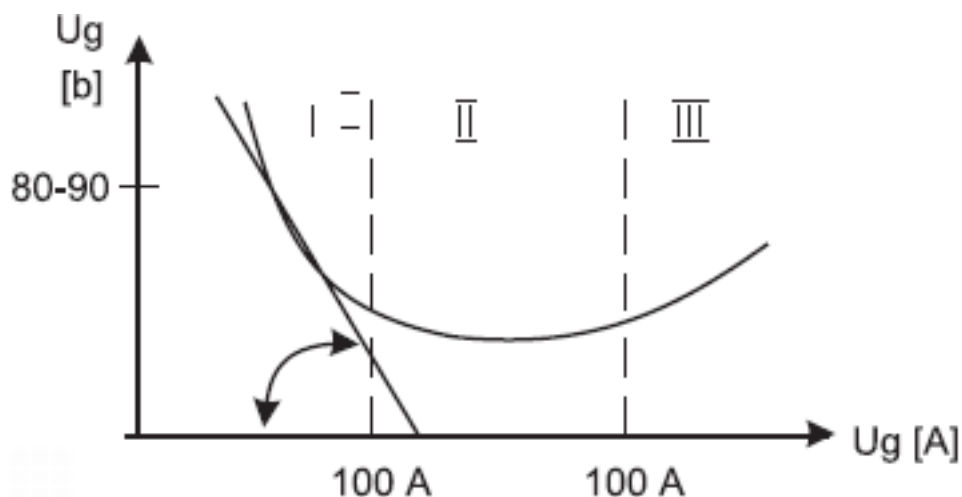


Рис. 5.

Статическая вольт-амперная характеристика дуги

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

- I и II участок — крупнокапельный,

- III участок – мелкокапельный или струйный.

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

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.

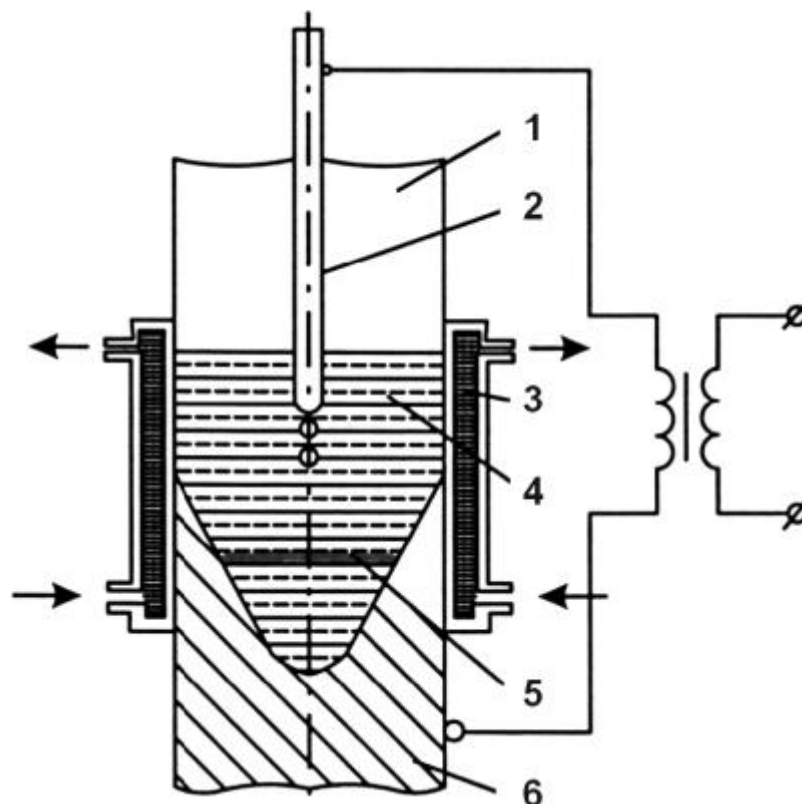


Рис. 6.

Схема процесса электрошлаковой сварки:

- 1 – кромки основного металла;*
- 2 – сварочная проволока;*
- 3 – формирующиеся устройства;*
- 4 – шлаковая ванна;*
- 5 – металлическая ванна;*
- 6 – 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 А/мм² и до 300 А/мм² 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. Положительный 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.

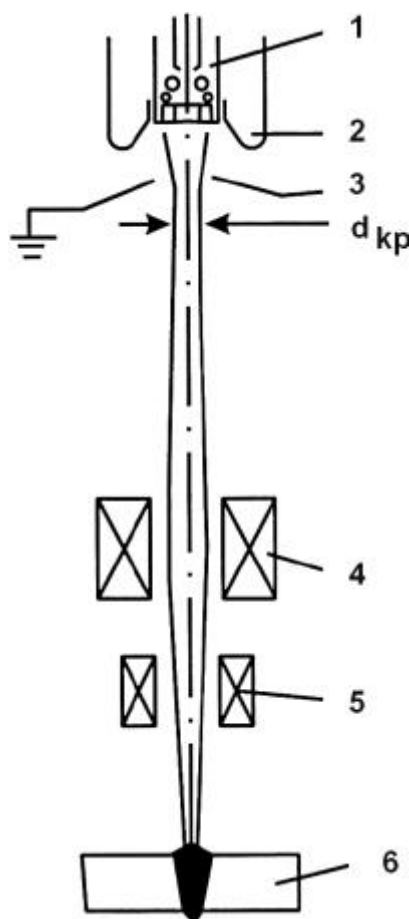


Рис. 7.

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

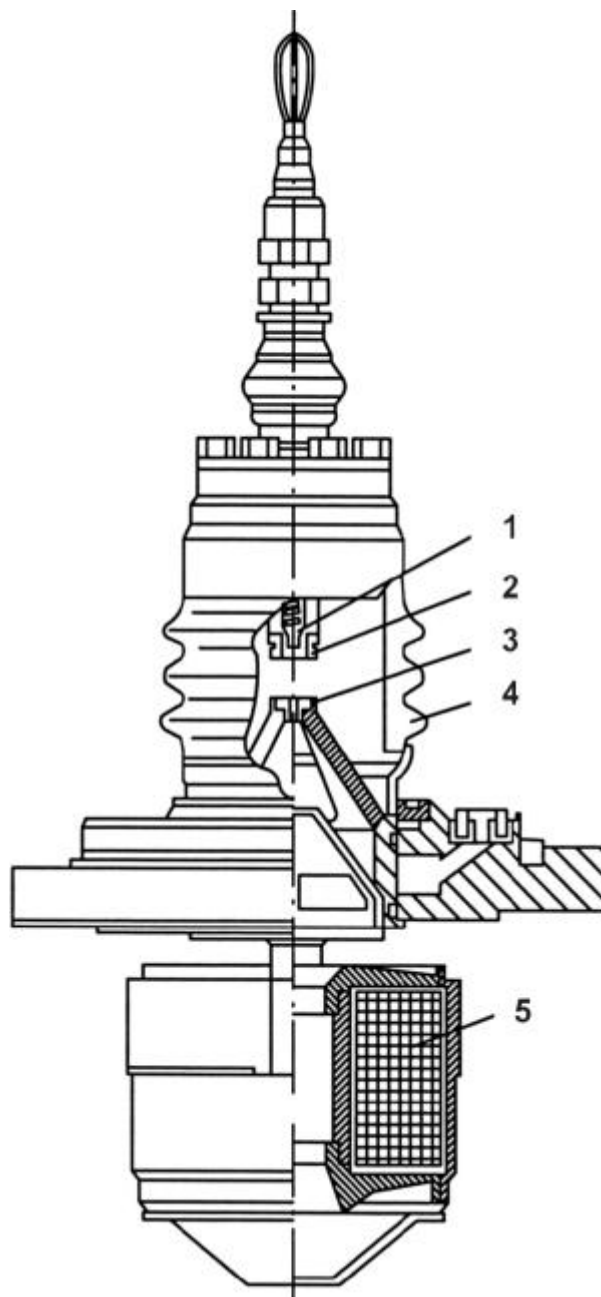


Рис. 8.

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 загрузки;
- 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, ионизируется, превращается в плазму, которая истекает в виде плазменной струи.

На практике применяют следующие виды плазмотронов, работающих:

- на дуговом разряде;
- пенинг-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 102 до 107 Вт.

Температура на срезе сопла – 3000–20 000 °С. Скорость истечения струи 1–104 м/с, промышленный к.п. д – 50–90 %. Плотность тока в плазмотронах достигает 100 А/мм².

В качестве плазмообразующего газа используют *аргон* (температура плазмы – 15000–30000 °С), азот (температура плазмы – 10000–15000 °С) или *смесь газов*, а также *водяной пар* (температура плазмы до 10000 °С).

Применяют два основных плазменных источника нагрева для сварки:

- *плазменную струю*, выделенную из столба косвенной дуги;
- *плазменную дугу*, совмещенную с плазменной струей.

Соответственно применяют два типа плазменных горелок.

В горелках (рис. 9а) для получения **плазменной струи** дуга (1) горит между *вольфрамовым электродом* (2) и *соплом* (4), к которому подключен положительный полюс источника тока. Электрод изолирован от корпуса горелки *керамической прокладкой* (3). Сопло интенсивно охлаждается водой. Из сопла выходит яркосветящаяся *плазменная струя* (5). Горелка питается током прямой полярности от источников с падающей характеристикой.

Плазменная струя представляет собой независимый источник теплоты, позволяющий в широких пределах изменять степень нагрева и глубину проплавления поверхности заготовок. Тепловая мощность плазменной струи ограничена, ее применяют для резки и сварки тонких металлических листов и диэлектрических материалов, а также для напыления тугоплавких материалов на поверхность заготовок.

Горелки, предназначенные для сварки, снабжены вторым *концентрическим соплом* (6), через которое подается защитный газ. Сопло электрически нейтрально и служит для сжатия и стабилизации дуги.

Сжатие столба происходит следующим образом: рабочий газ, проходя через столб дуги, нагревается, ионизируется и выходит из сопла плазмотрона в виде плазменной струи.

Плазменная струя имеет форму ярко выраженного конуса (рис. 9а) с вершиной, обращенной к изделию и окруженной факелом.

Устройство горелок для получения **плазменной дуги** (рис. 9б) принципиально не отличается от устройства горелок первого типа. Только дуга горит между электродом и изделием.

Процесс возбуждения плазменной дуги между электродом и изделием осуществить очень трудно. Поэтому дуга вначале возбуждается между электродом и соплом (дежурная дуга), а затем при касании ее факела изделия происходит автоматическое зажигание основной дуги между электродом и изделием. Для этого к соплу подключен токопровод от положительного полюса источника тока.

Плазменная дуга обладает большей тепловой мощностью по сравнению с плазменной струей, т. к. в изделие вводится дополнительное тепло от электрического тока дуги. Плотность теплового потока плазмотрона в десятки раз больше теплового потока при сварке плавящимся электродом.

Различают следующие виды плазменной технологии:

- плазменная сварка со сквозным проплавлением (толщина материала свыше 3 мм);
- плазменная сварка плавлением (толщина материала 1–3 мм);
- микроплазменная сварка (толщина материала 0,01–1 мм).

На рисунке 10 представлена конструкция микроплазменной горелки.

Оборудование для плазменно-дуговой сварки, резки, напыления:

- источник питания плазменной дуги с вертикальной вольт-амперной характеристикой;
- плазменная горелка-плазмотрон;
- системы подачи газа и охлаждения горелки;
- порошковый питатель (для напыления);
- устройства перемещения и фиксации деталей;
- система приточно-вытяжной вентиляции.

Преимущества плазменной технологии:

- высокая концентрация теплоты;
- высокая стабильность горения, что обеспечивает лучшее качество сварных швов;
- возможность сварки металлов до 10 мм без разделки кромок и применения присадочных материалов;
- возможность вести сварку на низких токах 0,1–25 А, в режиме микроплазменной сварки листов металла толщиной 0,01–0,8 мм;
- при увеличении тока дуги и расхода газа проникающая плазменная дуга позволяет вести резку любых современных материалов;
- введением в плазменную дугу присадочных металлов производят напыление, наплавку любых металлов, от легкоплавких и до тугоплавких;
- возможность сваривать металлы с неметаллами;
- минимальная, по сравнению с другими способами, зона термического влияния;
- более низкие термические деформации по сравнению с другими видами сварки;
- возможность обработки (сварка, напыление, резка) тугоплавких, жаропрочных металлов;
- пониженный расход защитных газов по сравнению с аргонно-дуговой сваркой;
- высокотехнологичный процесс, возможность автоматизации.

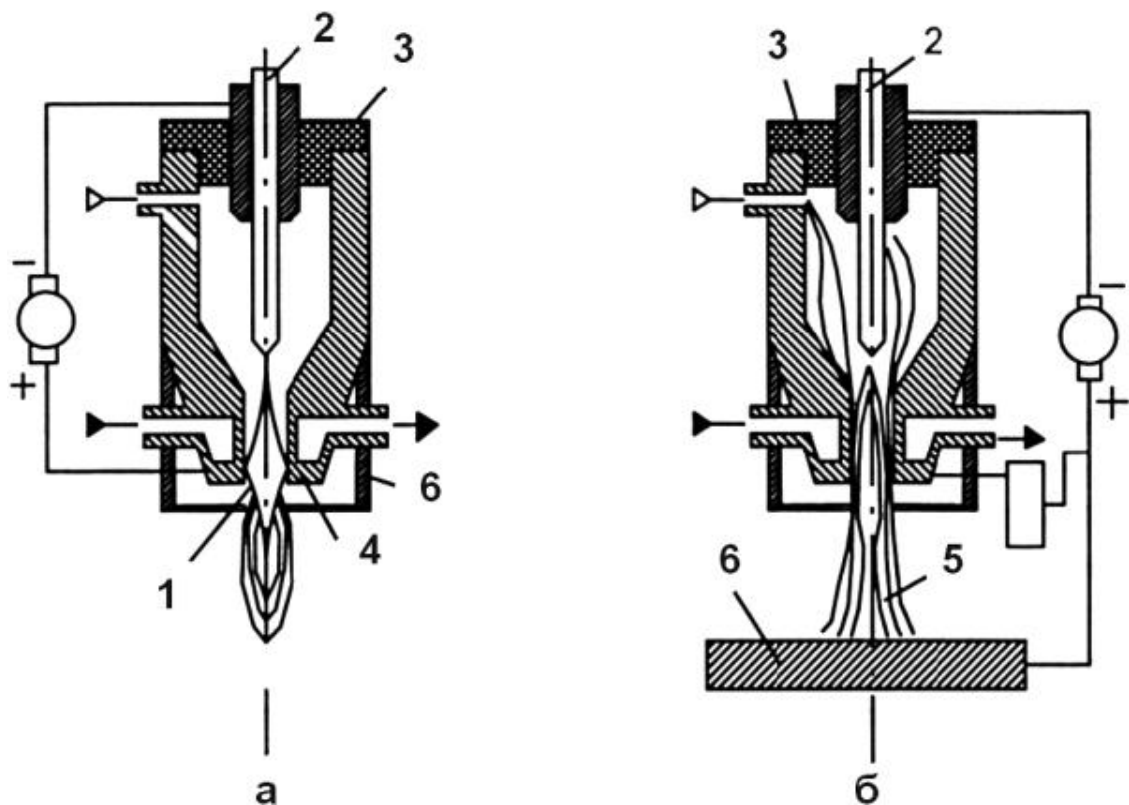


Рис. 9.

Схема получения плазменных источников нагрева:

а – плазменная струя, выделенная из дуги; б – плазменная дуга, совмещенная с плазменной струей.

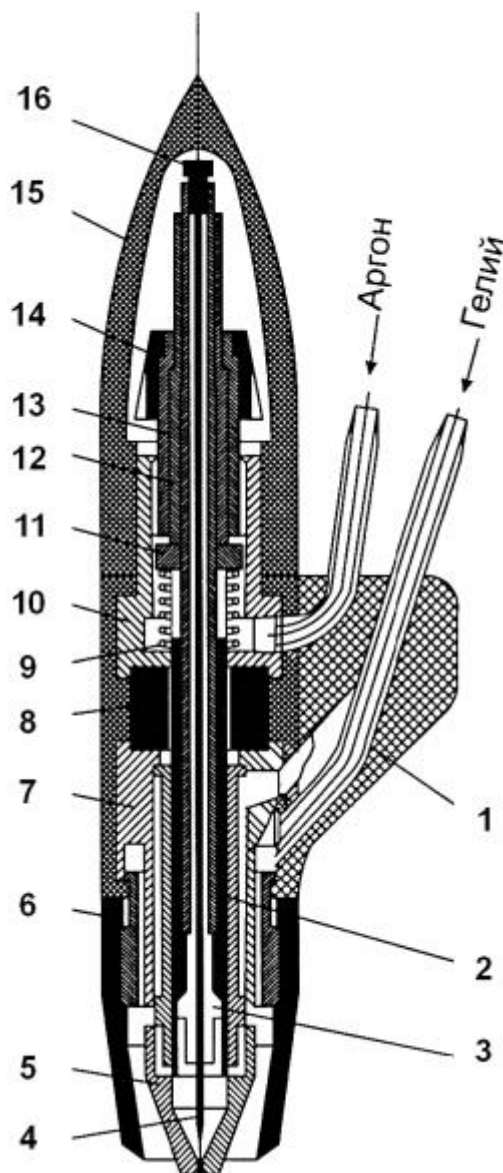


Рис. 10. Конструкция микроплазменной горелки:

1 – корпус горелки; 2 – втулка керамическая; 3 – зажимная цанга; 4 – вольфрамовый электрод; 5 – металлическое сопло; 6 – керамическое сопло; 7 – металлический корпус (неразъемный); 8 – керамическая изоляционная втулка; 9 – пружина; 10 – верхняя часть корпуса; 11 – кольцо опорное; 12 – гайка для зажима цанги; 13, 14 – винт и головка для регулировки зазора; 15 – защитный колпачок; 16 – кнопка для перемещения электрода к соплу.

Недостатки плазменной технологии:

- высокочастотный шум в комбинации с ультразвуком;
- электромагнитное излучение оптического диапазона (УФ, ИК, видимый спектр);
- ионизация воздуха;
- выделение паров материала в виде аэрозолей;
- недолговечность сопла плазменной горелки вследствие высокотемпературной нагрузки;
- сложность аппаратуры требует подготовки высоко-квалифицированного персонала.

Лазерная сварка

Лазер или ОКГ – оптический квантовый генератор когерентного монохроматического излучения. Что означают эти понятия? Придется вспомнить физику.

Современные понятия в физике наделяют элементарные частицы света (фотоны) свойствами либо волны, либо корпускул (частиц), так как свет проявляет свойства волны в одном случае – при явлениях *интерференции* и *дифракции*. В другом случае свет проявляет *квантовые свойства*. Например, в случае явления фотоэффекта о свете можно говорить, что он состоит из частичек, т. е. квантов. Однако квантовый и волновой подходы к природе света не противоречат свойствам света, а успешно дополняют друг друга.

В соответствии с постулатами квантовой физики любое вещество состоит из атомов и молекул. Каждая система атомов (молекул) обладает изначально запасами внутренней энергии. Атомы и молекулы вещества образуют так называемые *микросистемы*.

Микросистемы подчиняются законам квантовой механики и обладают основным свойством квантовых систем – *дискретностью* (т. е. прерывистостью) их энергетических состояний. Иначе говоря, энергия этих микросистем изменяется как бы скачками и принимает лишь некоторые определенные значения – *энергетические уровни*. Атомы (молекулы) веществ в микросистемах тоже находятся на определенных уровнях энергии, а переход с одного уровня на другой совершается мгновенно, скачком. Переход атома на верхний уровень сопровождается поглощением фотона света (т. е. кванта), а при переходе атома на нижний уровень энергии – выбросом фотона света или его испусканием. При этом энергия поглощенного испускаемого фотона равна разности энергий уровней атома, между которыми совершается квантовый скачок.

При естественных условиях атомы вещества самопроизвольно (спонтанно) переходят с уровня на уровень, излучая или поглощая кванты света – фотоны, например, при излучении света в электрической лампочке.

Предположим, имеется вещество, состоящее из атомов с энергетическими уровнями E_1 и E_2 , причем E_1 меньше E_2 . При облучении вещества, атомы которого находятся на уровне E_2 , фотонами с энергией $E = (E_2 - E_1)$ атомы вещества могут перейти обратно на уровень E_1 . При переходе происходит выброс фотонов, т. е. *вынужденное* излучение света. Появившийся новый фотон света будет точной копией того фотона, который вызвал его появление. Это явление и есть *когерентность*. Далее появление нового фотона света приводит к образованию двух таких же фотонов (рис. 11).

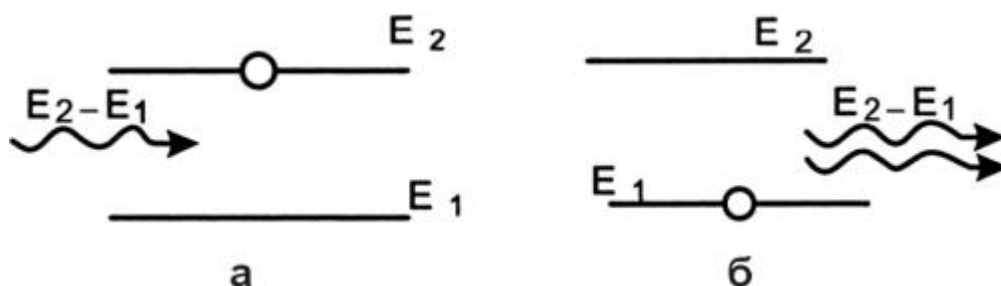


Рис. 11.

Схема поглощения кванта света (а) и вынужденного испускания света (б)

При определенных условиях, если среда является активной, процессы вынужденного излучения фотонов преобладают над процессами поглощения, процесс переходит в лавинообразное испускание вторичных фотонов. Но фотоны света испускаются во всех направле-

ниях. Чтобы упорядочить процесс генерации лазерного излучения в заданном направлении, используют оптические резонаторы. *Оптический резонатор* – это два зеркала с общей оптической осью, которая фиксирует в пространстве направление лазерного луча.

Направление генерации лазерного излучения обозначено на рис. 12 стрелкой.

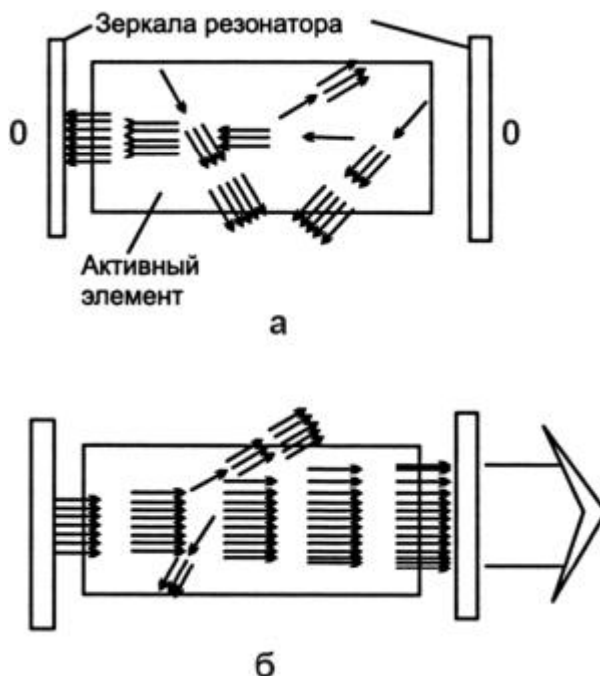


Рис. 12.

Развитие фотонной лавины вдоль оси резонатора О—О:

а – начало процесса; б – конец процесса

Спонтанные фотоны, случайно родившиеся в направлении О—О, будут проходить внутри активного элемента относительно длинный путь, который многократно увеличивается вследствие отражения от зеркал резонатора. Взаимодействуя с возбужденными активными центрами, эти фотоны, набирая энергию, инициируют мощную лавину вынужденно испущенных фотонов, которые образуют лазерный луч. Спонтанные фотоны, которые родились в других направлениях, равно как и соответствующие им лавины вторичных фотонов, пройдут внутри активного элемента сравнительно короткий путь и выйдут за его пределы.

Таким образом, зеркала оптического резонатора выделяют в пространстве определенное направление, вдоль которого реализуются наиболее благоприятные условия для развития фотонных лавин. Это и есть направление лазерного луча, который выходит из резонатора через одно из зеркал. Для облегчения процесса выхода одно из зеркал делают частично прозрачным для лазерного излучения.

Принципиальная схема лазера проста и показана на рисунке 13.

Теперь осталось ответить на вопрос о монохроматичности лазерного излучения.

По-гречески – «монос» означает «один», а «хромос» значит цвет. Таким образом, монохроматичность означает, что луч лазера – одноцветный. В физическом плане высокая монохроматичность проявляется в том, что луч лазера имеет практически одну длину волны. Элементарные волны света («волновые цуги») кроме монохроматичности идеально когерентны, т. е. распространяются в одном и том же направлении, имеют одинаковую длину волны и находятся в фазе друг с другом.

Высокая степень когерентности позволяет сфокусировать лазерный луч в пятно, равное длине волны излучения – т. е. порядка 1–10 микрон.

Если мощность лазера, например на основе CO_2 —1 кВт, сфокусировать на площадке диаметром в 1 мм, то получим интенсивность лазерного луча 10^5 Вт/см^2 .

Эта очень высокая концентрация тепловой энергии позволяет испарять все земные элементы и естественно сваривать при определенных условиях металлы. Современные лазерные установки способны выстреливать эту колоссальную мощность за доли секунды в импульсе.

Остается добавить, что в качестве активных сред можно использовать:

- кристаллы (искусственные или естественные);
- специальные стекла;
- полупроводники;
- жидкие среды (растворы специальных красителей);
- газовые среды.

В соответствии с используемой активной средой лазеры подразделяют на *твердотельные*, *жидкостные* и *газовые*.

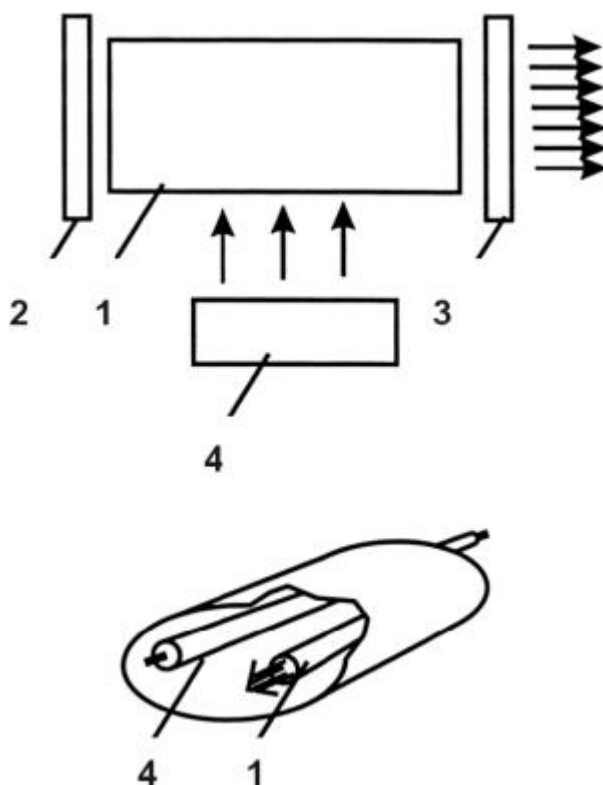


Рис. 13.

Принципиальная схема оптического лазера:

- 1 – активный элемент;*
- 2 – непрозрачное зеркало;*
- 3 – полупрозрачное зеркало;*
- 4 – устройство накачки.*

Вернемся к рисунку 13. Для чего используется накачка и что это такое? Когда говорят о накачке, то подразумевают введение энергии извне внутрь квантовой системы для возбуждения энергетических уровней, о чем говорилось выше. Можно еще сказать, что накачка необходима для возбуждения активной среды лазера.

Энергетическая накачка активных элементов лазера производится в импульсном или постоянном режиме. В импульсном режиме используются специальные *лампы-вспышки*, а в постоянном режиме – специальные *лампы-осветители*.

В сварочной технике применяют, в основном, твердотельные лазеры на кристаллах неодима с гранатом, неодимовых стеклах, на кристаллах рубина. В них применяется оптическая накачка с помощью *ксеноновых ламп*.

Используются для сварки и газовые лазеры. Мощные газовые лазеры изготавливают на основе газовых смесей с применением углекислого газа – CO_2 . Для газовых лазеров применяют в качестве энергетической накачки электрический высоковольтный разряд.

Оборудование для лазерной сварки и резки:

- высоковольтный выпрямитель для питания ламп накачки;
- блок конденсаторов;
- блок поджига газового разряда;
- собственно лазерная головка (активный элемент, отражатель, лампы накачки);
- оптическая система для фокусировки, юстировки (настройки) и наблюдения;
- система охлаждения установки;
- система перемещения, фиксации и контроля свариваемых деталей;
- система защиты персонала от действия лазерного излучения.

На рисунке 14 представлена схема оптической системы лазерной головки. Резонатор лазера образован двумя *сферическими зеркалами* (1). Между зеркалами резонатора расположены два соосно установленных осветителя, состоящих из *активного элемента* (2), *импульсной лампы накачки* (3) и *осветительной камеры* (4) в виде стеклянного цилиндрического блока. Излучение проходит через *линзы* (5, 12, 13) телескопической системы, позволяющей изменять расходимость луча лазера.

Зеркалом (7) излучение направляется на *объектив* (8), который фокусирует его на поверхность обрабатываемых *деталей* (10). *Защитное стекло* (9) предохраняет объектив от загрязнения продуктами взаимодействия излучения с материалом свариваемых деталей. Наводка излучения и визуальный контроль места сварки осуществляется встроенной *оптической системой* (6). *Осветитель* (11) служит для освещения места свариваемых деталей.

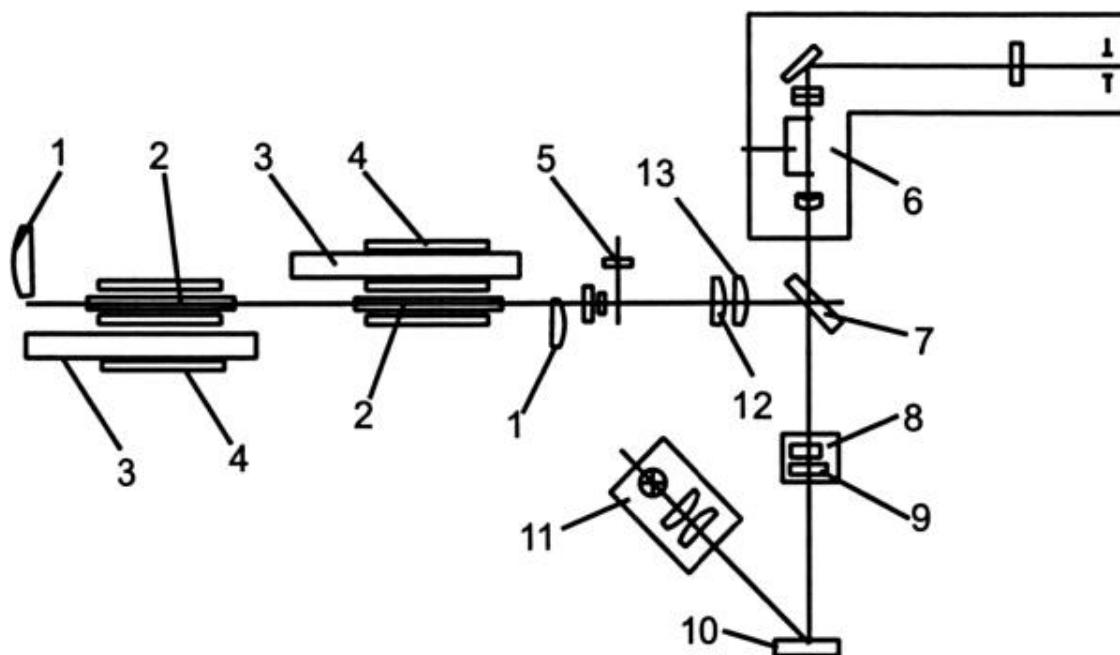


Рис. 14.
Схема лазерной установки

Преимущества лазерной технологии:

- высокая концентрация энергии в пятне нагрева на малой площади (доли миллиметра) позволяет сваривать миниатюрные детали с толщиной кромок от 50 микрон и выше, а также сваривать термочувствительные элементы;
- малое поперечное сечение сфокусированного луча при достаточно больших расстояниях от лазерной головки до свариваемой детали позволяет производить сварку в труднодоступных местах;
- уникальное свойство лазерного излучения проходить через твердые, прозрачные для луча материалы, позволяет производить сварку в вакууме, в газовых защитных средах;
- импульсный и непрерывный режимы излучения позволяют подводить в зону сварки строго дозированное количество энергии;
- высокая стерильность процесса сварки и отсутствие вредных выделений;
- высокая технологичность процесса;
- высокая степень автоматизации процесса сварки с применением микропроцессорной техники;
- применение лазера во всех технологических процессах обработки конструкционных материалов (резка, сварка, наплавка, прошивка отверстий) при высоких показателях качества и производительности.

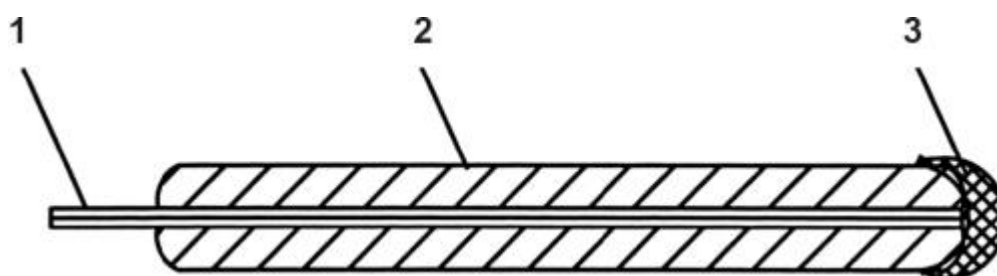


Рис. 15.

Термитный карандаш:

1 – проволока; 2 – термит; 3 – «затравка» для зажигания

Недостатки применения лазеров:

- относительно высокая цена аппаратуры по сравнению с другими способами сварки металлов;
- применение высокотехнологичной аппаратуры требует подготовки специалистов соответствующей квалификации;
- применение специальных вибростойких платформ для устранения вибраций;
- защита персонала от воздействия мощного лазерного излучения;
- применение газовых лазеров требует периодической «тренировки» активных элементов для сохранения их работоспособности.

Термитная сварка

Сущность термитной сварки состоит в том, что свариваемые детали помещают в огнеупорную форму, а в установленный тигель сверху засыпают *термитный порошок* и поджигают его. При горении термита поднимается высокая температура, более 2000 °С, и образуется жидкий металл. Жидкий металл, оплавляя кромки свариваемых деталей и заполняя зазор между деталями, образует сварочный шов.

Обычно термит состоит из смеси 23 % опилок алюминия и 77 % окиси железа. Размер частичек порошка порядка 0,5 мм. При поджигании термитного порошка происходит экзотермическая реакция (т. е. химическая реакция с выделением теплоты). При этом окись железа восстанавливается до чистого железа, а алюминий окисляется. Расплавленное железо участвует в процессе сварки. Иногда термитную сварку выполняют при сварке стыков, когда отсутствуют другие источники теплоты.

Некоторые фирмы выпускают *термитные карандаши* (рис. 15). Термитный карандаш представляет собой отрезок проволоки из углеродистой стали диаметром 2–5 мм. На проволоку наносится термит, замешанный на клею, обычно нитроцеллюлозном.

На одном из концов расположена затравка для поджигания термита. Обычно используют 1 весовую часть бертолетовой соли (KClO_3) и 0,5 весовой части мелких алюминиевых опилок, также замешанных на нитроцеллюлозном клею. При сварке термитным карандашом пользуются щитком и держателем для электродов, как и при электрической дуговой сварке. Сварку термитным карандашом применяют на аварийных и экстренных работах, при отсутствии источников энергии. Например для сварки рельсов, проводов связи, кабельных линий. Для этих целей промышленность выпускает *термитные патроны* (термитные шашки) и специальные спички к ним. Принцип их действия аналогичен рассмотренному выше.

Преимущества термитной сварки:

- простота в использовании и низкая себестоимость;
- возможность производить сварку в экстренных случаях.

Недостатки термитной сварки:

- высокая способность поглощать влагу (гигроскопичность);
- чувствительность к механическим и тепловым воздействиям (пожароопасность);
- возможность взрыва при попадании воды на горящую термитную шашку;
- невозможность управления процессом горения термитной смеси.

Глава 2

Механический класс сварки

Классификация видов сварки давлением

К механическому классу относят виды сварки, осуществляемые с использованием механической энергии и давления.

К механическому классу относят следующие виды сварки:

- *холодная сварка;*
- *сварка взрывом;*
- *сварка трением;*
- *ультразвуковая сварка.*

Механическая энергия используется для сближения поверхностей на уровень межатомных взаимодействий элементов свариваемых деталей с образованием устойчивых связей.

Простота оборудования и высокая скорость процесса сварки позволили занять механическому классу сварки достойное место в различных технологических процессах.

Холодная сварка

Холодную сварку выполняют без нагрева, при нормальных или пониженных температурах. Метод холодной сварки основан на использовании *пластической деформации*, с помощью которой разрушают окисную пленку на свариваемых поверхностях и сближают свариваемые поверхности до образования металлических связей между ними. Эти связи возникают при сближении поверхностей соединяемых металлов на расстояние порядка нескольких ангстрем в результате образования общего электронного облака, взаимодействующего с ионизированными атомами обоих металлических поверхностей. Такое сближение достигается приложением больших удельных усилий в месте соединения. В результате происходит совместная пластическая деформация. Большое усилие сжатия обеспечивает разрушение пленки оксидов на свариваемых поверхностях и образование чистых поверхностей металла.

С помощью холодной сварки можно сваривать металлы, обладающие высокими пластическими свойствами при нормальной температуре. К этим металлам относятся: алюминий, золото, серебро, кадмий, свинец, цинк, титан, медь, никель, олово и их сплавы. Этот метод также применим для сварки разнородных металлов, например, меди с алюминием.

В недостаточно пластичных материалах при больших деформациях могут образоваться трещины. Высокопрочные металлы и сплавы холодной сваркой не сваривают, так как для этого требуются большие удельные усилия, которые трудно осуществить.

Если при сварке плавлением механизм образования соединения нагляден (например по расплавленным кромкам металла), то при холодной сварке давлением образование прочного соединения (схватывание) элементов происходит в твердой фазе. Таким образом, зона соединения недоступна для непосредственного наблюдения. В схватывании участвует огромное число атомов – до 10^{14} атомов/см² со стороны каждого из металлов, а на скорость соединения влияет большое число внешних (температура, состав среды, давление) и внутренних (структура материала, механические свойства, состояние поверхности) факторов.

В проблему объяснения механизмов схватывания материалов в твердой фазе в конце XIX столетия внесли существенный вклад советские ученые: академики С. Б. Айбиндер, А. А. Бочвар, К. К. Хренов, профессора А. П. Семенов, Ю. Л. Красулин, К. А. Кочергин, В. П. Алехин и многие другие.

Получены расчетные данные, выдвинуты гипотезы, но единой теории образования сварочных соединений давлением нет.

Так, по гипотезе (энергетической) профессора А. П. Семенова, были введены количественные показатели процесса схватывания металлов, т. е. той минимальной степени деформации, при которой он начинается:

$$E = h/s \times 100 \%,$$

где: h – минимальная глубина вдавливания пуансона, при которой начиналось схватывание;

s – минимальная толщина в месте схватывания;

E – относительная деформация схватывания.

Процесс схватывания в твердой фазе представляет собой топохимическую (химическая реакция на поверхности) реакцию, при которой между атомами соединяемых поверхностей вещества устанавливаются связи, аналогичные связям в объеме кристаллической решетки.

Таким образом, особенностью сварки в твердом состоянии является то, что для образования физического контакта и создания условия для химического взаимодействия материалов без расплавления к ним необходимо приложить механическую энергию.

Сварное соединение образуется только при условии выноса (выдавливания) из зоны контакта части поверхностного металла вместе с окисной пленкой. Было установлено, что прочность соединения зависит только от относительной пластической деформации металла и не зависит от времени выдержки в сжатом состоянии.

Холодной сваркой выполняют *точечные, шовные и стыковые соединения.*

Холодная сварка используется при производстве, например, герметизированных полупроводниковых приборов, различных корпусов, предметов хозяйственно-бытового назначения. При использовании ручных гидропрессов – в монтажных работах, например, для холодной сварки кабельных муфт и проводов в сетях электроснабжения.

Холодная точечная сварка (сварка внахлестку)

На рисунке 16 представлена схема холодной точечной сварки.

Свариваемые детали (1) с тщательно зачищенной поверхностью в месте соединения помещают между пуансонами (2), имеющими выступы (3). При сжатии пуансонов усилием P выступы пуансонов (3) вдавливаются в металл до тех пор, пока они упрутся в наружную поверхность свариваемых заготовок. Форма свариваемой точки зависит от формы выступа в пуансоне.

Холодной сваркой сваривают металлы и сплавы толщиной 0,2–15 мм. Удельные усилия, зависящие от состава и толщины свариваемого материала, в среднем составляют 150–1000 МПа.

В практике применяются следующие методы точечной холодной сварки:

- сварка без предварительного зажатия деталей;
- сварка с предварительным зажатием деталей;
- сварка с односторонним деформированием деталей.

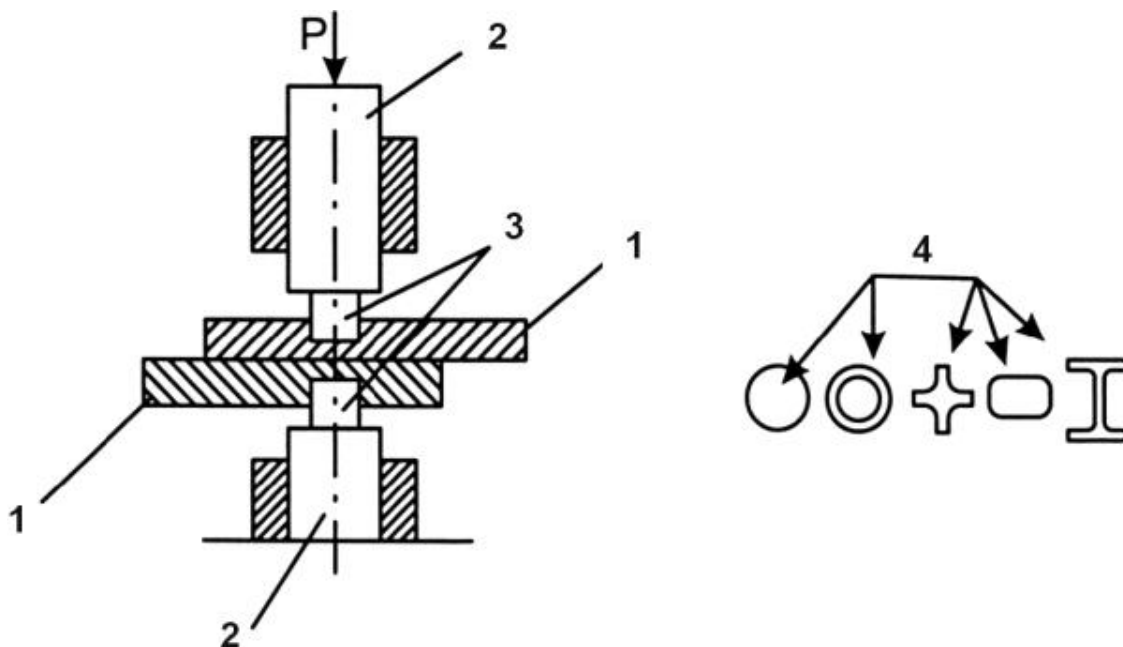


Рис. 16.

Схема холодной точечной сварки:

- 1 – свариваемые детали;
2 – пуансоны;
3 – выступы пуансонов;
4 – формы пуансонов.

При точечной сварке без предварительного зажатия деталей (рис. 17) с целью получения заданной прочности соединения необходимо приложить соответствующее давление пуансона. Например, для сварки алюминия это давление составляет 17–25 кгс/мм² площади торца рабочего выступа пуансона. Для сварки меди оно должно быть увеличено в 2–4 раза. Наиболее технологичная форма выступов пуансона – прямоугольная и круглая. Ширина или диаметр рабочего выступа пуансона равны 1–3 толщинам свариваемых деталей – в зависимости от толщины последних. При сварке разнородных материалов диаметры круглых или

*1 – свариваемые детали;
2 – прижимы; 3 – пуансоны*

Недостатком этого способа является коробление деталей, что особенно затрудняет сварку деталей больших толщин (более 4 мм), а также деталей из металлов с малой пластичностью (нагартованная медь, алюминий).

Способ сварки с предварительным зажатием деталей (рис. 18) позволяет устранить основные недостатки предыдущего способа (без фиксации деталей). Отличие в том, что рабочий выступ пуансона изготавливают в виде отдельной детали, подвижной относительно опорной части, предназначенной для зажатия деталей с начала процесса сварки и до его окончания. Зажатие деталей между опорными частями (прижимами) (2) производят до вдавливания рабочих выступов пуансонов (3) в металл детали или одновременно с ним. За счет этого устраняется коробление свариваемых деталей и увеличивается прочность сварного соединения. Прочность сварного соединения растет с увеличением глубины вдавливания рабочих пуансонов в металл.

Максимальная прочность получается в том случае, когда рабочие пуансоны углубляются в металл почти на полную его толщину. При этом способе сварки давление на прижимы рекомендуется в пределах 3–5 кгс/мм². Площадь прижима должна превышать площадь торца рабочего выступа пуансона в 15–20 раз. В частности, при сварке алюминия конечное давление на рабочий пуансон составляет 40–150 кгс/мм² площади торца его рабочего выступа – в зависимости от толщины свариваемого металла.

Точечная холодная сварка с односторонним деформированием (рис. 19) применяется в том случае, когда по эстетическим или техническим причинам требуется ровная с какой-то одной стороны поверхность сварного соединения. Прочность сварного соединения при одностороннем деформировании достигает максимального значения при глубине вдавливания около 60 % толщины свариваемых деталей. Дальнейшее увеличение углубления пуансона не приводит к росту прочности сварного соединения. При сварке металлов с разной толщиной вдавливание пуансона рекомендуется выполнять со стороны более тонкого металла, а при значительной разнице в толщинах (например, 10 мм + 1 мм) сварка уже невозможна.

Для получения качественного соединения перед сваркой материал необходимо тщательно зачищать от окисных пленок и обезжиривать от любых органических пленок. Даже прикосновение пальцев рук резко снижает прочность сварного соединения. Прочность соединения способом холодной сварки зависит от относительной глубины вдавливания пуансона и качества подготовки поверхности.

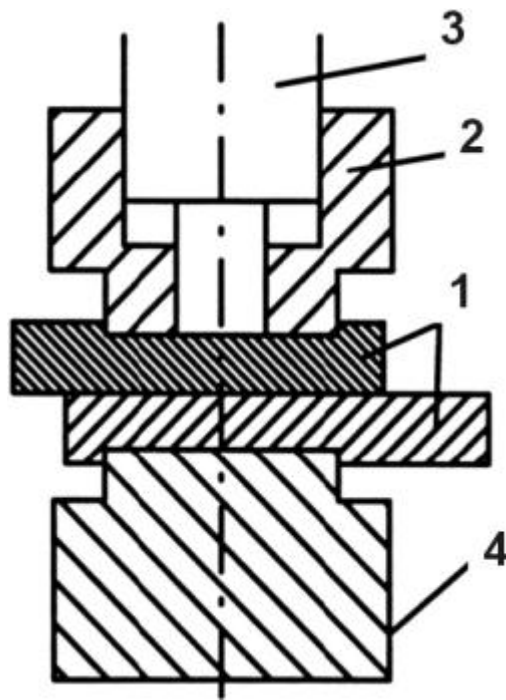


Рис. 19.

Схема холодной сварки с односторонним деформированием деталей:

1 – свариваемые детали; 2 – прижим;

3 – пуансон; 4 – основание.

Минимальная глубина вдавливания инструмента определяется свойством материала.

Холодная шовная сварка

Для холодной шовной сварки применяют специальные ролики. При этом способе сварки металл деформируется вдавливанием в него рабочих выступов вращающихся роликов (рис 20). Для сварки прямых листов непрерывные швы непригодны, т. к. уменьшают сечение деталей и по этой линии может происходить излом. Поэтому такой способ используют для сварки кольцевых и продольных швов в замкнутых контурах.

Для различных металлов и их сплавов разработаны технологические приемы холодной шовной сварки. Например, для алюминия и его мягких сплавов рекомендованы следующие параметры:

- диаметр роликов – $50 S$;
 - ширина рабочего выступа ролика – $(1-5) S$;
 - высота рабочего выступа ролика $(0,8-0,9) S$,
- где S – толщина свариваемых деталей.

Для сварки алюминия и мягких сплавов толщиной $2+1,5$ мм усилие, прилагаемое к роликам в рабочем режиме, равно $1,8$ тс. Используют два типа шовной сварки:

- с односторонним деформированием металла;
- с двухсторонним деформированием металла.

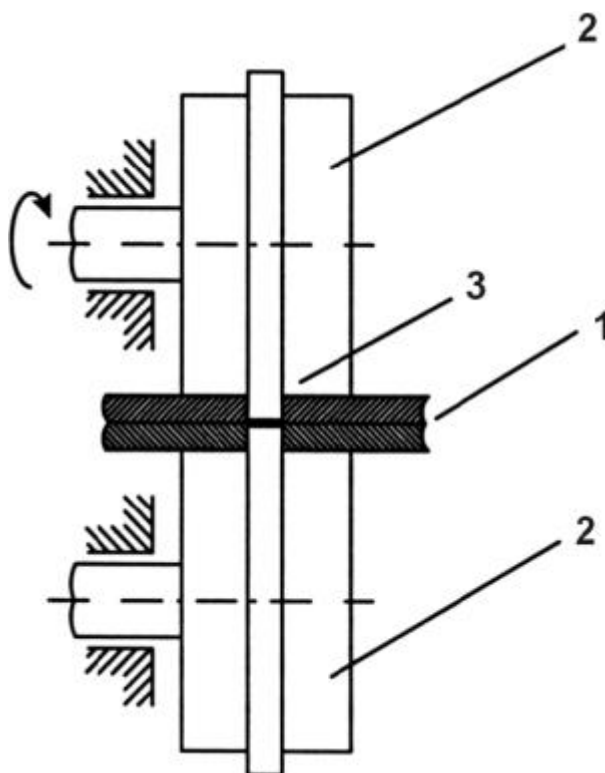


Рис. 20.

Схема холодной шовной сварки:

1 – свариваемые детали; 2 – ролики;

3 – рабочие выступы роликов

Холодная сварка встык

При этом способе сварки соединяемые детали закрепляют в специальных зажимах, расположенных соосно, а торцы свободных, выпущенных из зажимов концов деталей, прижимают один к другому. При осевой осадке выпущенные концы пластически деформируются, и в месте стыка образуется сварное соединение. Место сварки всегда имеет характерное утолщение по стыку. Величина свободных выпущенных концов зависит от свариваемых сечений и материала деталей.

Используют два типа зажимных устройств:

- с затрудненным истечением металла;
- со свободным истечением металла.

Схемы зажимных устройств показаны на рисунке 21.

Холодная сварка сейчас находит широкое применение благодаря простоте использования. Для соединения методом холодной сварки используют любые прессы (винтовые, гидравлические, рычажные, эксцентриковые и т. п.) как общепромышленного, так и специального назначения.

Достоинства холодной сварки:

- простота и доступность оборудования (например, любые прессы);
- низкая квалификация персонала;
- отсутствие вредных выделений при сварке;
- возможность сварки пластичных металлов без нагрева;
- высокая степень механизации процесса;
- малый расход энергии;
- высокая производительность.

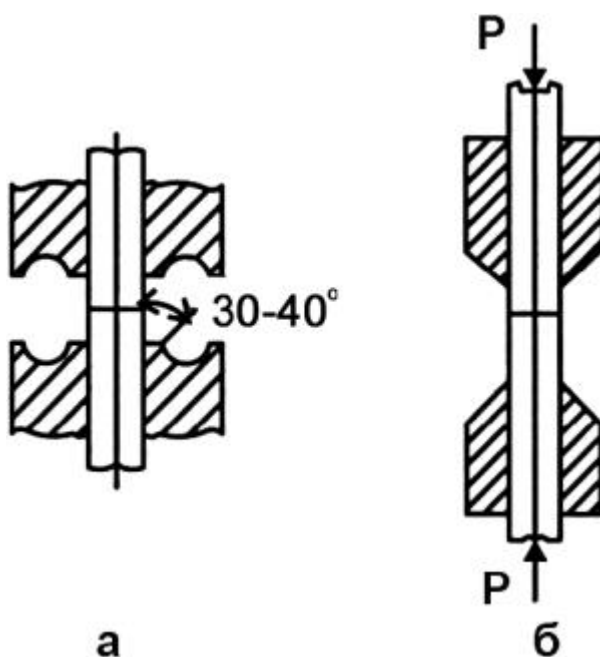


Рис. 21.

Схема зажимов для стыковой холодной сварки:

1 – с затрудненным истечением металла;

2 – со свободным истечением

Недостатки холодной сварки:

- большие удельные давления;
- относительно малый диапазон толщин материалов при сварке (0,2–15 мм);
- невозможность сварки высокопрочных металлов.

Сварка взрывом

Сварку взрывом можно отнести к видам сварки с оплавлением, при кратковременном нагреве на воздухе, так как на отдельных участках наблюдаются зоны металла, нагретые до оплавления. Однако на других участках температура может быть невысока, и здесь процесс приближается к холодной сварке.

Большинство технологических схем сварки основано на использовании направленного (кумулятивного) взрыва.

На рисунке 22 приведена схема сварки взрывом. Соединяемые поверхности двух заготовок, одна из которых неподвижна и служит основанием, располагают под углом друг к другу на расстоянии h .

На заготовку (3) укладывают *взрывчатое вещество* (2) толщиной H , а со стороны, находящейся над вершиной угла, устанавливают *детонатор* (1). Сваривают на жесткой опоре. Давление, возникающее при взрыве, сообщает импульс расположенной под зарядом пластине. Детонация взрывчатого вещества с выделением газов и теплоты происходит с большой скоростью (несколько тысяч метров в секунду).

В месте соударения метаемой пластины с основанием образуется угол γ , который перемещается вдоль соединяемых поверхностей. При соударении из вершины угла выдуваются тонкие поверхностные слои, оксидные пленки и другие загрязнения. Соударение пластин вызывает течение металла в их поверхностных слоях.

Поверхности сближаются до расстояния действия межатомных сил взаимодействия, и происходит схватывание по всей площади соединения. Продолжительность сварки взрывом не превышает нескольких микросекунд. Этого времени недостаточно для протекания диффузных процессов, сварные соединения не образуют промежуточных соединений между разнородными металлами и сплавами.

Прочность соединений, выполненных сваркой взрывом, выше прочности соединяемых материалов. Разрушение при испытании происходит на некотором расстоянии от плоскости соединения по наименее прочному металлу. Это объясняется упрочнением тонких слоев металла, прилегающих к соединенным поверхностям, при их пластической деформации.

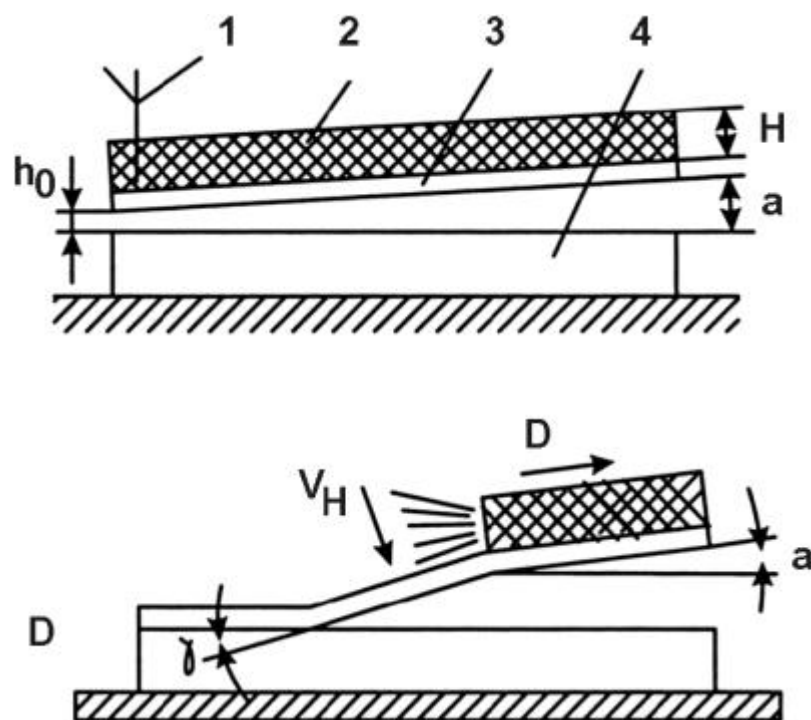


Рис. 22.

Схема сварки взрывом:

1 – детонатор; 2 – взрывчатое вещество (ВВ);

3, 4 – соединяемые поверхности

Параметры сварки взрывом:

- скорость детонации – D ;
- нормальная скорость метаемой пластины при соударении с основанием – V_n ;
- угол встречи при соударении – γ .

Скорость детонации, определяемая типом взрывчатого вещества и толщиной его слоя, должна обеспечивать образование направленной (кумулятивной) струи без возникновения опасных для металла ударных волн.

Сварка взрывом как способ соединения металлов в твердой фазе была открыта в начале 60-х годов прошлого столетия одновременно в России и США.

Достоинства сварки взрывом:

- высокая скорость (несколько микросекунд) соединения;
- изготовление заготовок из разнородных металлов (биметалл);
- плакирование (покрытие слоем металла) поверхностей сталей металлами и сплавами с особыми физическими и химическими свойствами;
- возможность изготовления прямолинейных и криволинейных заготовок площадью от нескольких квадратных сантиметров до десятков квадратных метров;
- изготовление заготовок для штамповки иковки;
- простота оборудования (собственно детали и заряд ВВ).

Недостатки сварки взрывом:

- защита персонала от детонационных волн при взрыве зарядов;

- обучение персонала работе со взрывчатыми веществами;
- изготовление специальных камер для сварки взрывом;
- невозможность механизации или автоматизации процесса.

Сварка трением

Сварка трением относится к процессам, в которых используется взаимное перемещение свариваемых поверхностей, давление и кратковременный нагрев. Сварка трением происходит в твердом состоянии при взаимном скольжении двух заготовок, сжатых силой P . Работа, совершаемая силами трения при скольжении, превращается в теплоту, что приводит к интенсивному нагреву трущихся поверхностей. Таким образом, для сварки используется тепло, которое выделяется в стыке при трении двух поверхностей в результате преобразования механической энергии в тепловую. Трение поверхностей осуществляют вращением, возвратно-поступательным перемещением сжатых заготовок и колебательным перемещением одной из соединяемых деталей по отношению к другой.

Схемы сварки трением показаны на рисунке 23:

- а) *с вращением одной детали;*
- б) *с вращающейся вставкой;*
- в) *с вращением в противоположные стороны;*
- г) *с возвратно-поступательным движением одной детали.*

В результате нагрева и сжатия происходит совместная пластическая деформация. Сварное соединение образуется вследствие возникновения металлических связей между чистыми (ювенильными) контактирующими поверхностями свариваемых заготовок. На сопряженных деталях в месте стыка происходит интенсивный нагрев контактирующих поверхностей. Например, для углеродистых сталей обыкновенного качества температура достигает 900–1350 °С. При достижении температуры сварки процесс трения должен быть резко прекращен.

Окисные пленки на соединяемых поверхностях разрушаются в результате трения и удаляются за счет пластической деформации в радиальных направлениях. Сварка заканчивается естественным охлаждением деталей при повышенном сжимающем осевом усилии.

Выделяют несколько типов сварных соединений сваркой трением, которые показаны на рисунке 24:

- а) *сварка стержней встык;*
- б) *сварка труб встык;*
- в) *сварка встык стержня с трубой;*
- г) *приварка стержня к листу;*
- д) *приварка трубы к листу;*
- е) *приварка стержня к массивной детали.*

Основные технологические параметры сварки трением:

- скорость относительного перемещения (вращения) свариваемых поверхностей;
- продолжительность нагрева;
- удельное усилие сжатия заготовок;
- пластическая деформация, т. е. величина осадки;
- площадь сечения и конфигурация заготовки.

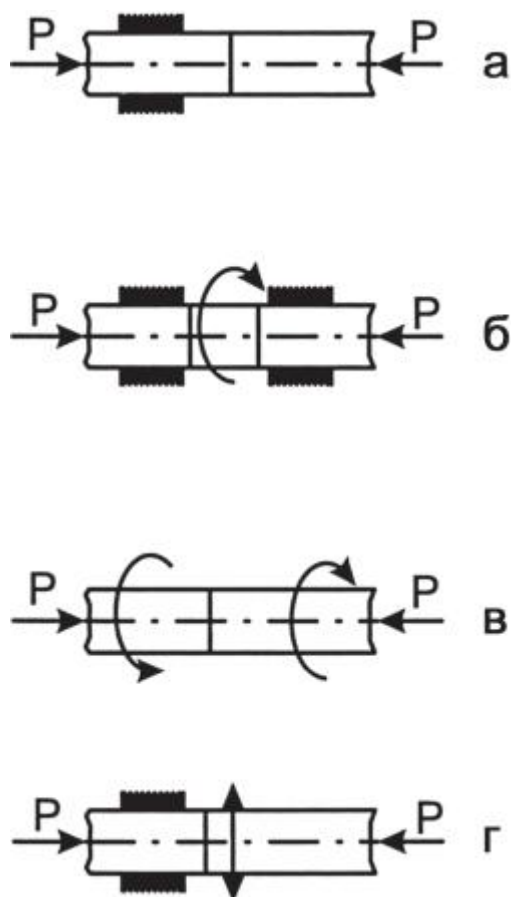


Рис. 23.

Схемы сварки трением

Преимущества стыковой сварки:

- высокая производительность;
- высокое и стабильное качество сварного соединения;
- возможность сварки разнородных металлов и сплавов;
- отсутствие вредных выделений;
- высокие энергетические показатели (например, при сварке трением углеродистой стали удельная электрическая мощность равна $15\text{--}20 \text{ Вт/мм}^2$, а при электрической контактной сварке – $120\text{--}150 \text{ Вт/мм}^2$);
- высокая скорость соединения деталей (машинное время в пределах 2–40 секунд);
- высокая степень механизации и автоматизации процесса;
- возможность использовать для сварки трением различные типы общепромышленных токарных и сверлильных станков.

Недостатки сварки трением:

- для каждого металла необходимо разрабатывать технологические режимы в зависимости от состава материала и геометрических параметров;
- необходимость контроля момента сварки с последующим прекращением процесса;
- необходим механизм давления для создания осевых усилий сжатия.

Ультразвуковая сварка

Волны, распространяющиеся в упругих средах (газах, жидкостях, твердых телах), называются в физике *волнами малой интенсивности*. Эти волны вызывают слабые механические возмущения. Звуковые волны, воздействуя на органы слуха, способны вызывать звуковые ощущения, если частоты звуковых колебаний лежат в пределах 16–20 000 Гц. Эта область называется *областью слышимых звуков*. Упругие волны с частотами 20–100 кГц называются *ультразвуковыми*.

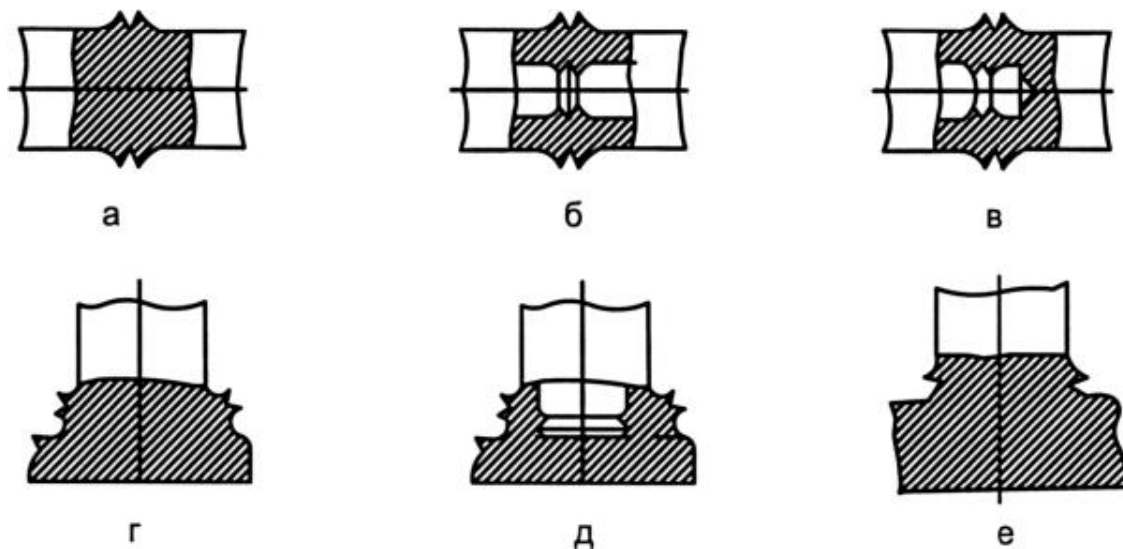


Рис. 24.

Типы соединений сварки трением

Ультразвук («ультра» означает «сверх») – волнообразно распространяющееся колебательное движение частиц твердых тел, жидкостей и газов, происходящее с частотами более 16 000 колебаний в секунду. В физике принято измерять частоты колебаний в герцах (1 Гц = 1 колебанию в 1 секунду). Ультразвук назван так потому, что основная часть людей не слышит колебания свыше 16 кГц.

Сущность процесса ультразвуковой сварки состоит в том, что при приложении колебаний высокой (ультразвуковой) частоты к свариваемым деталям в них возникают *касательные напряжения*, вызывающие пластические деформации материала свариваемых поверхностей. В результате механических колебаний в месте соединения металлов развивается повышенная температура, зависящая от свойств материала. Эта температура способствует возникновению пластического состояния материалов и их соединению. В местах сварки образуются совместные кристаллы, обеспечивающие прочность сварного соединения. Таким образом, сварка с применением ультразвука относится к процессам, в которых используют *давление, нагрев и взаимное трение* свариваемых поверхностей. В этом способе сварки тепловая энергия не подводится извне, а образуется в результате действия сил трения, поэтому ультразвуковая сварка относится к механическому классу. Силы трения возникают в результате действия механических колебаний с ультразвуковой частотой на заготовки, сжатые осевой силой Р.

Механические колебания создаются в специальных *преобразователях*, которые преобразуют высокочастотные колебания электрического тока в механические колебания рабочего инструмента.

Для этих целей используют магнитострикционный эффект, основанный на изменении размеров некоторых материалов при воздействии на них переменного магнитного поля. Магнитострикция как физический эффект была открыта в 1842 г. Дж. П. Джоулем. Название было дано от латинского слов *strictio*, что означает сжатие, натягивание. В настоящее время для магнитострикционных преобразователей используют материалы на основе ферромагнитных сплавов.

Переменный электрический ток создает в магнитострикционном материале преобразователя переменное магнитное поле. Изменения размеров магнитострикционного материала происходят при каждом полупериоде тока, т. е. упругие колебания генерируются с двойной частотой относительно частоты переменного тока. Изменения размеров магнитострикционных материалов очень незначительны, Поэтому для передачи к месту сварки механических колебаний, увеличения амплитуды и концентрации энергии колебаний используют *волноводы*. В большинстве случаев они имеют сужающуюся форму.

В зависимости от конструкции волновода и крепления инструмента в зоне сварки можно получить *продольные, поперечные и крутильные колебания* инструмента. Их амплитуда обычно бывает в пределах 10–30 мкм.

Мощность генераторов для сварки ультразвуком при рабочей частоте 18–25 кГц составляет от 0,4 кВт и до 5 кВт. Применяются также генераторы с частотами: 44, 66, 88 кГц.

На рисунке 25 показаны различные виды волноводов (концентраторов) для увеличения амплитуды колебаний и передачи их в зону сварки.

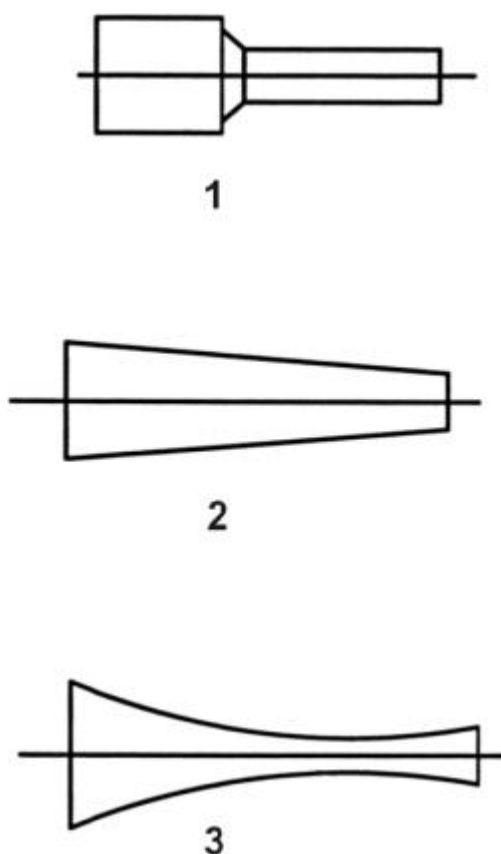


Рис. 25. Виды волноводов (концентраторов):

1 – ступенчатый; 2 – конический; 3 – сложной геометрической формы

Стержневой магнитострикционный преобразователь показан на рисунке 26а, он состоит из *сердечника 1* и *катушки 2*. Переменный ток возбуждает в катушке переменное

магнитное поле, которое за счет магнитострикционного эффекта в направлении оси сердечника создает упругие напряжения и деформации, т. е. сердечник совершает продольные механические колебания.

Продольные механические колебания, возбуждаемые в преобразователе, подаются на инструмент или преобразуются в другие типы колебаний, обусловленные технологией. Это реализуется изменением конструкции волновода и инструмента.

Устройства для преобразования колебаний показаны на рисунке 26б.

Изгибные колебания получают при помощи волновода продольных колебаний, если к нему присоединить *стержень 3*, имеющий резонансные размеры по отношению к изгибным колебаниям заданной частоты. Крутильные колебания передаются в зону сварки, например способом, показанным на рисунке 26б.

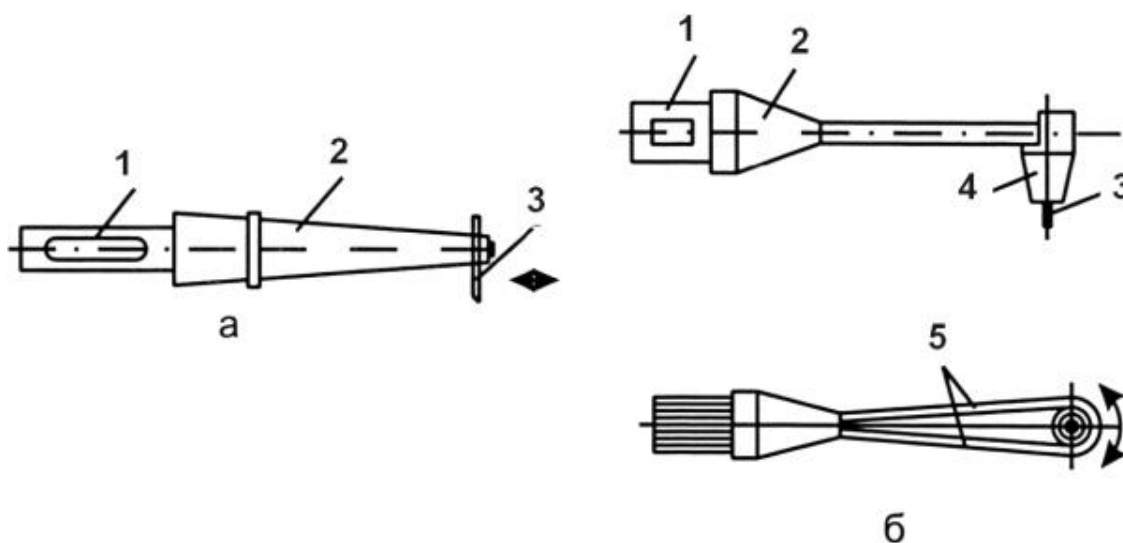


Рис. 26.

Устройства для преобразования колебаний:

а – с помощью волновода продольных колебаний; б – с помощью волновода крутильных колебаний

На рисунке 27 показана принципиальная схема ультразвуковой сварки. При сварке ультразвуком свариваемые заготовки размещают на *опоре 6*. Наконечник *рабочего инструмента 2* соединен с магнитострикционным *преобразователем 4* через трансформатор продольных колебаний, представляющий собой вместе с *рабочим инструментом 2* *волноотвод 3*. Нормальная сжимающая сила P создается моментом M в узле колебаний.

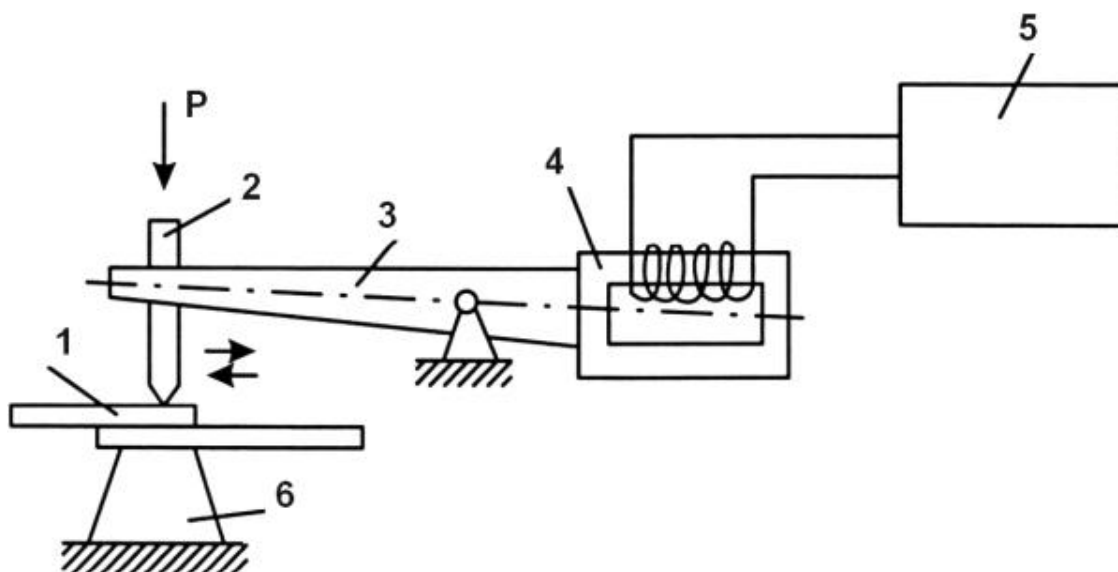


Рис. 27.

Принципиальная схема ультразвуковой сварки:

1 – свариваемые детали; 2 – инструмент; 3 – волновод; 4 – преобразователь; 5 – генератор ультразвуковых колебаний; 6 – опора

В результате ультразвуковых колебаний в тонких слоях контактирующих поверхностей создаются *сдвиговые деформации*, разрушающие поверхностные пленки. При этом тонкие поверхностные слои металла нагреваются, металл в этих слоях немного размягчается и под действием сжимающего усилия пластически деформируется. При сближении поверхностей на расстояние действия межатомных сил между ними возникает прочная связь.

Экспериментально установлено, что прочность соединений, выполненных сваркой ультразвуком, во многих случаях превосходит прочность соединения, полученного контактной сваркой.

Сравнительно небольшое тепловое воздействие на соединяемые материалы обеспечивает минимальное изменение их структуры, механических и других свойств. Например, при сварке меди температура в зоне контакта не превышает 600 °С. При сварке алюминия и его сплавов температура составляет 200–300 °С. Это особенно важно при сварке химически активных металлов.

Этим видом сварки соединяют металлы, сплавы металлов и различные материалы в различных сочетаниях толщиной от 0,001 мм и до нескольких миллиметров. При сварке пластмасс к заготовкам подводятся поперечные ультразвуковые колебания.

В настоящее время ультразвуковая сварка находит широкое применение в радиоэлектронной промышленности, приборостроении, авиационной, космической и многих других областях.

Сварка ультразвуком применяется для точечных и шовных соединений внахлестку и по замкнутому контуру.

Достоинства сварки ультразвуком:

- незначительный нагрев деталей (в пределах пластической деформации);
- для получения сварного соединения требуется незначительная электрическая мощность;
- подготовка деталей ограничивается практически их обезжириванием;

- возможность производить сварку деталей с оксидированными и плакированными поверхностями, а также с покрытиями в виде изоляционных пленок;
- возможность сварки разнородных металлов и материалов, в т. ч. и пластмасс;
- возможность сварки ультратонких листов до 0,001 мм;
- сваркой ультразвуком можно соединять разнородные материалы в пакет;
- ультразвуковая сварка применима для соединения трудносвариваемых металлов, например молибдена, вольфрама, тантала, циркония;
- сварка происходит практически мгновенно, в момент включения УЗ-генератора;
- отсутствие вредных выделений при сварке;
- высокая степень автоматизации процесса сварки;
- высокая скорость сварки (до 150 м/час) и прочность соединения.

Недостатки сварки ультразвуком:

- применение специальных генераторов ультразвука;
- относительно небольшой диапазон толщин свариваемых материалов;
- вредное воздействие ультразвука на организм человека;
- необходимость применения устройств для предварительного сжатия деталей.

Глава 3

Термомеханический класс сварки

Классификация видов термомеханической сварки

Термомеханический класс сварки основан на использовании совместного действия тепла и давления, вводимых в зону сварки. Термомеханический, или термопрессовый, класс сварки по принципу действия во многом аналогичен рассмотренному выше механическому классу сварки. Основное отличие в том, что тепловая энергия вводится в зону сварки извне. Тепловая энергия образуется при прохождении электрического тока через сопротивление по границе «металл—металл», введением теплоты от газовой горелки, электрическим разрядом от конденсатора. Используется также тепловая энергия от дугового разряда.

В соответствии с этим термомеханический класс сварки разделяют на следующие виды:

- *электроконтактная сварка;*
- *диффузная сварка;*
- *газопрессовая сварка;*
- *дугопрессовая сварка;*
- *сварка аккумулированной энергией.*

Электроконтактная сварка

Электроконтактная сварка является одним из самых распространенных видов сварки металлов давлением. Электроконтактная сварка относится к видам сварки с кратковременным нагревом места соединения деталей без оплавления или с оплавлением и осадкой разогретых заготовок. Характерная особенность этих процессов – пластическая деформация, в ходе которой формируется сварное соединение. В процессе этой деформации происходит удаление окислов из зоны сварки, устранение раковин и местное уплотнение металла.

Способ электроконтактной сварки изобрел русский инженер Н. Н. Бенардос, который в 1885 году получил патент на способ точечной электросварки клещами с угольными электродами. Позднее этот способ усовершенствовали заменой угольных электродов на медные, и появились новые способы сварки: роликовая, стыковая, рельефная и т. д.

Место соединения разогревается проходящим по металлу электрическим током, при этом максимальное количество теплоты выделяется в месте сварочного контакта. Количество теплоты, выделяемой в зоне сварки, определяют по формуле Джоуля-Ленца ($Q = I^2 \times R \times t$):

$$Q = 0,24 \times I^2 \times R \Delta t.$$

где Q – количество тепла (кал.);

I – сила тока сварки (А);

R – полное сопротивление зоны сварки (Ом);

t – время протекания тока сварки (с).

$$Q = I^2 \times R \Delta t,$$

где Q – количество теплоты (Дж),

остальные параметры по формуле 3.1.

Основное влияние на нагрев оказывает сила сварочного тока. Например, при данном количестве необходимой теплоты, расходуемой за один сварочный цикл, увеличение силы тока в два раза приведет к уменьшению времени сварки более чем в четыре раза.

Полное сопротивление сварочного контура состоит из электросопротивлений выступающих концов заготовки L , свариваемых заготовок $R_{заг}$, сварочного контакта R_k и электросопротивления между электродами и заготовками $R_{эл}$ (рис. 28 а)

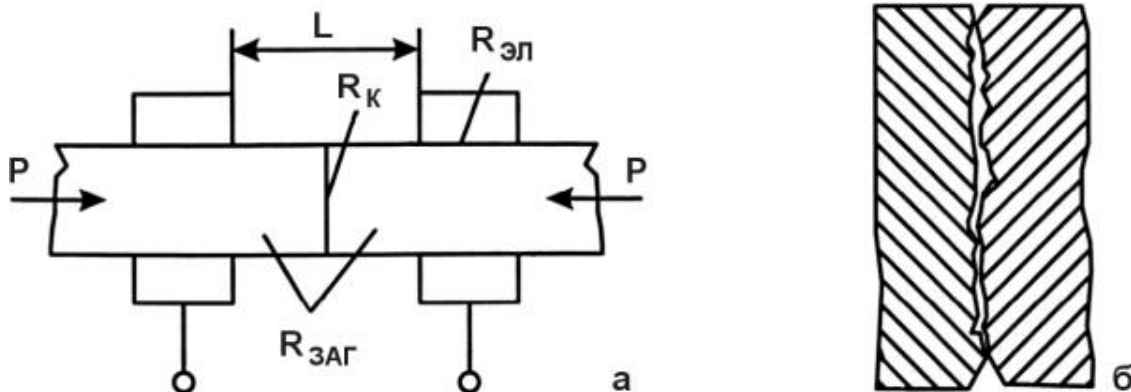


Рис. 28.

Схема электроконтактной сварки (а), схема контакта заготовки (б)

Полное сопротивление сварочного контура равно:

$$R = R_{\text{заг}} + R_{\text{к}} + R_{\text{эл}}$$

Сопротивление сварочного контакта зависит от таких факторов, как чистота поверхностей деталей в месте сварки, наличие окисных пленок металла, сила сжатия заготовок. Например, при сварке неочищенных заготовок сопротивление в месте контакта изменяется в весьма широких пределах. Это приводит к изменению температуры нагрева, стабильности прочностных показателей, браку и износу электродов.

При нагреве в месте контакта сопротивление металла возрастает, следовательно, еще более возрастает количество выделяющейся теплоты и резко ускоряется процесс сварки. Применяя для контактной сварки токи больших величин, удастся производить сварку за десятки и сотые доли секунды.

Контактную сварку классифицируют по типу сварного соединения, определяющего вид сварочной машины, и по роду тока, питающего сварочный трансформатор.

По типу сварного соединения различают:

- стыковую контактную сварку;
- точечную контактную сварку;
- шовную (роликовую) контактную сварку.

По роду сварочного тока выделяют контактную сварку:

- переменным током;
- импульсом постоянного тока;
- аккумулярованной энергией.

Схемы основных современных способов контактной сварки представлены на рисунке 29. Эти способы отличаются сопряжением деталей в месте соединения, особенностями токоподвода и приложением сварочного давления.

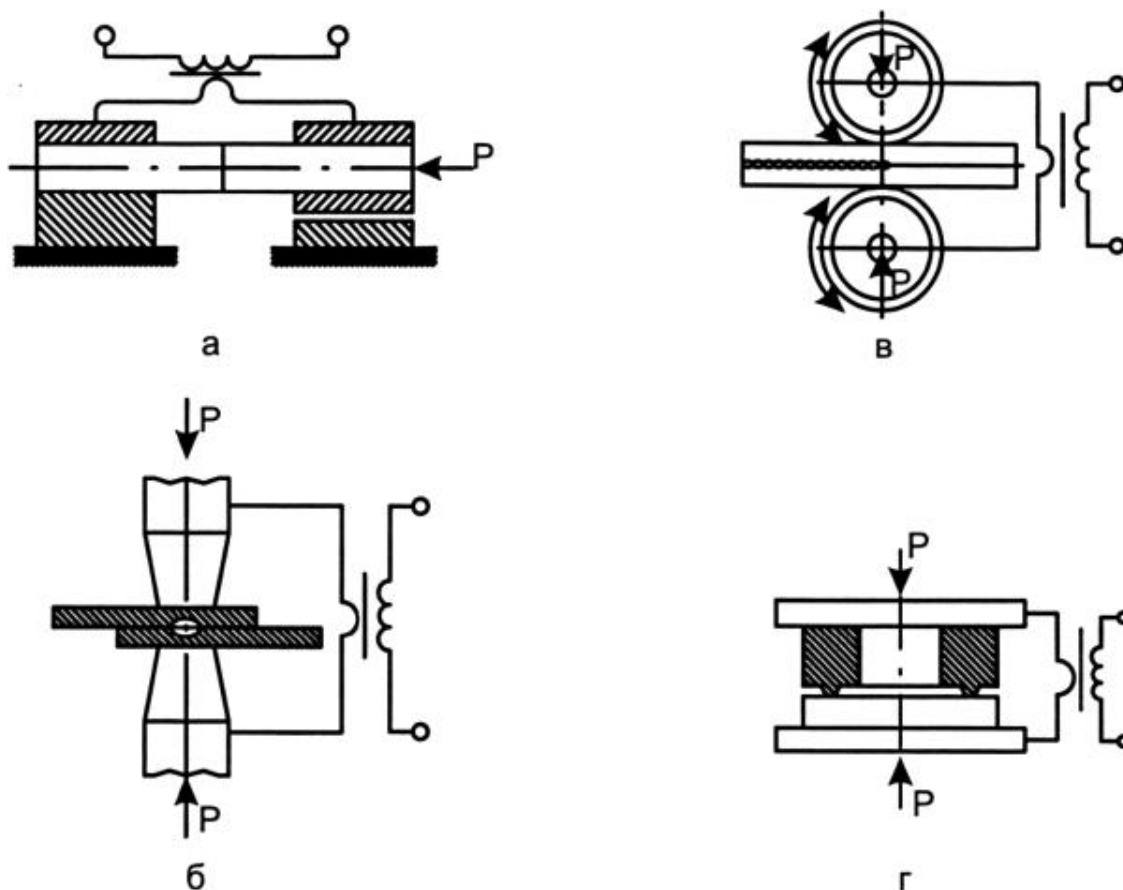


Рис. 29.

Основные способы контактной электросварки:

а – стыковая сварка; б – точечная сварка; в – шовная (роликовая) сварка; г – рельефная сварка

Выпускаемые машины для электроконтактной сварки состоят из двух основных частей: электрической и механической.

Электрическая часть сварочной машины состоит из:

- трансформатора с первичной обмоткой на напряжение 220/380 В и вторичной обмоткой на напряжение 1–20 В, при силе тока во вторичной обмотке от нескольких десятков до сотен килоампер;
- регулятора времени;
- прерывателя тока в цепи первичной обмотки;
- токоподводящих устройств.

Механическая часть машины для контактной электросварки включает в себя:

- устройства фиксации деталей;
- механизмы для создания, выдержки и снятия давления на заготовки.

Машины для контактной сварки работают по заданной программе с целью изменения сварочного тока и усилия сжатия. График изменения сварочного тока и усилия сжатия, совмещенных во времени, называют циклограммой.

Контактная электросварка является высокопроизводительным процессом. Этот вид сварки легко механизуется и автоматизируется. Относительная простота в обслуживании способствует широкому применению контактной сварки в строительстве, автомобилестроении, приборостроении и многих других областях техники и производства.

Стыковая контактная электросварка

Различают следующие способы стыковой сварки (рис. 29а):

- *стыковая сварка сопротивлением;*
- *стыковая сварка оплавлением.*

Стыковая контактная сварка сопротивлением – разновидность контактной сварки, при которой заготовки, установленные и закрепленные в стыковой машине, прижимают одну к другой усилием определенной величины, после чего пропускают по ним электрический ток. При нагревании металла в зоне сварки до пластического состояния происходит *осадка*. Ток выключают до окончания осадки.

Недостаток этого способа в том, что им можно соединять детали малого сечения (до 100 мм²) с простым периметром (круг, квадрат, прямоугольник и т. п.). Детали при этом способе требуют тщательной очистки.

Стыковая сварка оплавлением. При этом способе детали медленно сближают при включенном источнике тока. Соприкосновение поверхностей при медленном сближении приводит к образованию отдельных микроконтактов, через которые протекает ток высокой плотности. Происходит *взрывное оплавление микроконтактов*. При этом под действием магнитного поля расплавленный и кипящий металл выбрасывается наружу. Последующее сжатие заготовок приводит к образованию сварного шва. Осадку деталей начинают при включенном токе и завершают при выключенном токе. При этом используют непрерывное или прерывистое оплавление места сварки.

Сварка оплавлением имеет преимущества перед сваркой сопротивлением в том, что при оплавлении выравниваются все неровности стыка, а оксиды и загрязнения удаляются. Поэтому не требуется особой подготовки места соединения, можно сваривать детали с сечением сложной формы. Сваркой оплавлением соединяют разнородные металлы – быстрорежущие, углеродистые стали, медь, алюминий.

Наиболее распространенными изделиями, изготавливаемыми стыковой сваркой, являются элементы трубчатых конструкций, кольца, колеса, инструмент, рельсы, арматура для строительства.

Точечная контактная электросварка

Заготовки соединяют сваркой в отдельных местах, условно называемых *точками*.

Размеры и структура точки, определяющие прочность соединения, зависят от различных факторов. Форма и размеры контактной поверхности электродов, сила сварочного тока, время его протекания через заготовки, усилия сжатия и состояния поверхностей заготовок – это основные технологические параметры точечной сварки.

При этом способе соединяемые детали внахлестку расположены под сжимающими электродами. К электродам подводится электрический ток. В момент прохождения тока заготовки нагреваются, особенно быстро нагреваются участки, прилегающие к контакту между электродами. При этом металл расплавляется, и под действием сжимающих усилий капля расплавленного металла сплющивается на стыке «деталь-деталь». В момент образования в зоне сварки расплавленного ядра заданных размеров ток выключают. После выключения тока заготовки кратковременно выдерживают между электродами под действием усилия сжатия, в результате чего происходит охлаждение зоны сварки, кристаллизация расплавленного металла и уменьшение усадочной раковины в ядре сварной точки. Electroды оставляют характерный отпечаток в виде точки.

Точечной сваркой можно сваривать листовые заготовки одинаковой или разной толщины, пересекающиеся стержни, листовые заготовки со стержнями или профильными заготовками (уголками, швеллерами, таврами и т. п.).

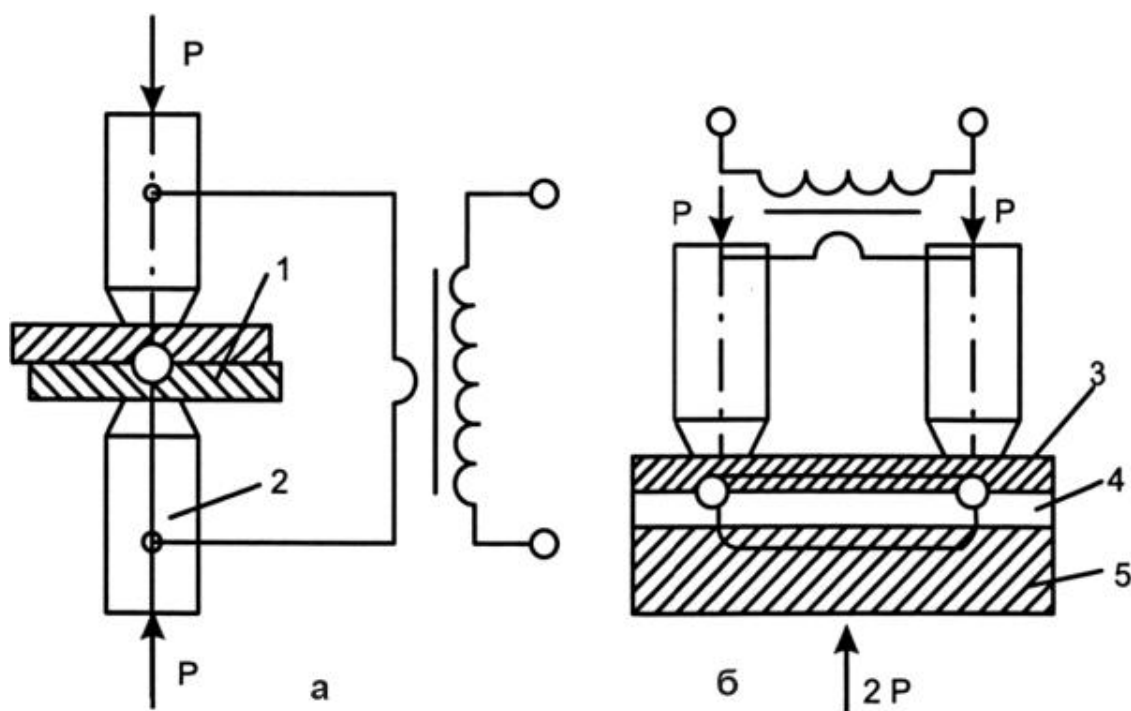


Рис. 30.

Схема точечной электросварки:

а – схема процесса; б – сечение сварной точки; Р – давление сжатия заготовок

Точечную сварку применяют для соединения заготовок из сталей различных марок, а также из цветных металлов и их сплавов толщиной от сотых долей миллиметра до 35 мм.

Сварка, в зависимости от расположения электродов по отношению к свариваемым заготовкам, может быть двухсторонней и односторонней.

Типы сварных соединений точечной контактной сваркой показаны на рисунке 31.

Точечной сваркой изготавливают *штамповарные заготовки* – при соединении отдельных штампованных элементов сварными точками, что упрощает процесс изготовления сварных узлов. Точечная сварка широко применяется при производстве автомобилей и в авторемонтных мастерских – при замене элементов кузова.

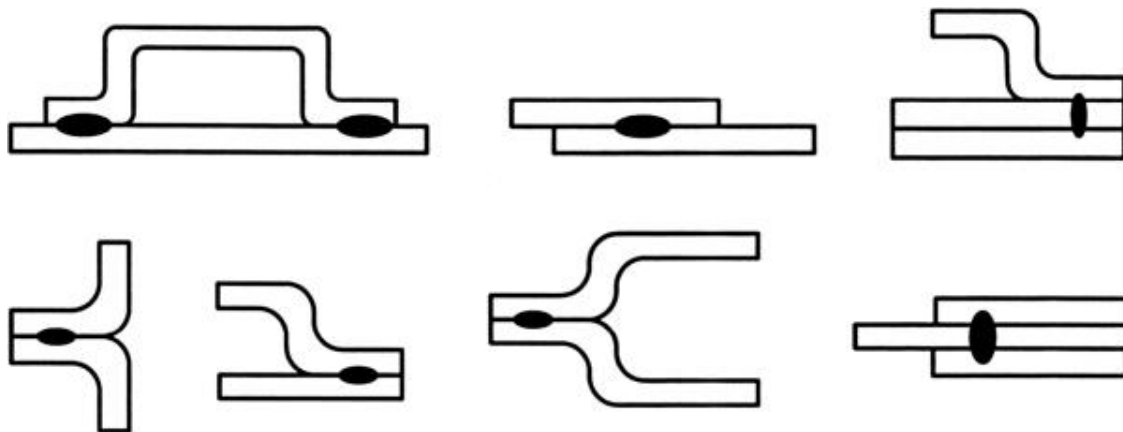


Рис. 31.

Типы сварных соединений точечной сваркой

Можно выделить *рельефную сварку* как вид контактной одновременной многоточечной сварки.

Рельефная сварка характерна тем, что на одной из заготовок предварительно изготавливают выступы (рельефы) – круглой, кольцевой, продолговатой или иной формы. Сварку выполняют одновременно по всем рельефам, что обеспечивает высокую производительность процесса.

Основные технологические параметры точечной сварки:

- удельное усилие сжатия – P (МПа);
- плотность тока – i (А/мм²);
- время протекания тока – t (с).

Шовная (роликовая) контактная электросварка

Шовная (роликовая) сварка – разновидность контактной сварки, при которой заготовки соединяют прочно-плотным сварным швом, состоящим из ряда точек, перекрывающих друг друга. Электроды имеют вид роликов (дисков) диаметром – 400 мм. Форму рабочей поверхности выбирают в зависимости от толщины, формы и материала свариваемых заготовок. Ролики для сварки делают из токопроводящих материалов, с высокой теплопроводностью, например из меди или специальных сплавов.

Схема шовной сварки изображена на рисунке 32.

В процессе шовной сварки (рис. 32) *листовые заготовки 1* соединяют внахлестку, зажимают *между роликами-электродами 2* и пропускают ток сварки от *трансформатора 3*. При движении роликов по заготовкам образуются перекрывающиеся друг друга точки, в результате чего образуется сплошной герметичный шов. Шовную сварку, так же как и точечную, можно получить при одностороннем и двухстороннем расположении электродов.

Циклограмма процесса шовной сварки бывает с прерывистым или с непрерывным включением тока.

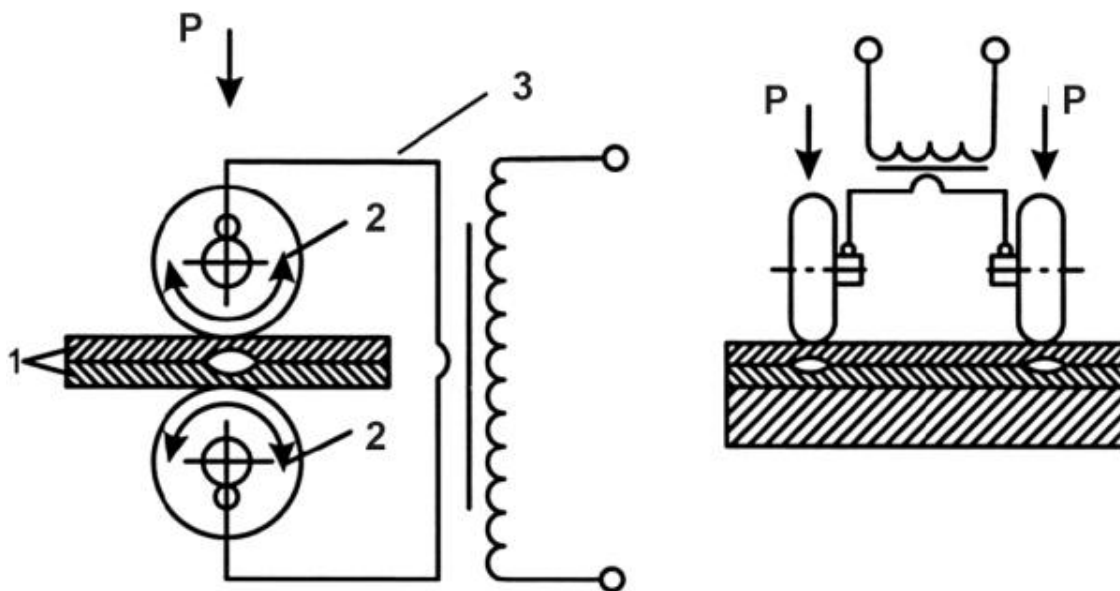


Рис. 32.

Схема шовной сварки и разрез сварного шва:

1 – заготовки; 2 – ролики;

3 – сварочный трансформатор;

P – усилие сжатия

Толщины свариваемых листов металла составляют – 0,3 мм. Шовной сваркой выполняют те же типы сварных соединений, что и точечной сваркой, но используют для получения герметичных швов.

Шовную сварку применяют в массовом производстве для изготовления различных сосудов, баков и т. п.

Диффузная сварка

Диффузией называется явление самопроизвольного проникновения и перемешивания частиц двух соприкасающихся газов, жидкостей или твердых тел. Происхождение слова от латинского *diffusio* означает распространение, растекание, рассеивание. С точки зрения физики это неравновесный процесс, вызываемый молекулярным тепловым движением и приводящий к установлению равновесного распределения концентраций внутри фаз. В результате диффузии происходит выравнивание химических потенциалов компонентов смеси.

Микроскопическая теория диффузии атомов, основанная на *механизме перескоков атомов по вакансиям* (свободным местам), была развита Я. И. Френкелем.

Замещение атомов кристаллической структуры вакансиями связано с возможностью перехода их через потенциальный барьер. Предполагается, что после перехода атома на свободное место (вакансию) он, благодаря сильному взаимодействию его с соседними атомами, успевает отдать часть энергии, прежде чем вернется на свое место.

Процесс диффузии в твердых телах может осуществляться несколькими способами:

- обмен местами атомов кристаллической структуры с ее вакансиями;
- перемещение атомов по междоузлиям;
- одновременное циклическое перемещение нескольких атомов;
- обмен местами двух соседних атомов.

При образовании твердых растворов замещения преобладает обмен местами атомов и вакансий. Диффузию принято выражать через коэффициент диффузии D :

$$D = a^2/t \times \exp(-W/k \times T),$$

где: D – коэффициент диффузии;

a – постоянная решетки;

t – время периода колебаний атомов решетки ($t=10-13$ с)

W – энергия активации;

T – температура.

Из формулы видно, что для твердых тел характерна экспоненциальная зависимость диффузии от температуры. Например, коэффициент диффузии для цинка в медь возрастает в 1014 раз при повышении температуры от 30 °С до 300 °С.

Все эти физические явления положены в основу диффузной сварки материалов и различных металлов и их сплавов. При диффузной сварке соединение образуется в результате взаимной диффузии (проникновения) атомов в поверхностных слоях контактируемых материалов, находящихся в твердом состоянии.

Температура нагрева при сварке несколько выше или ниже 0,5–0,9 $T_{\text{плавл}}$ температуры рекристаллизации более легкоплавкого материала. Процесс сварки в большинстве случаев выполняют в вакууме, примерно $(1,33 \times (10^{-2}-10^{-5})$ Па. Однако возможна и сварка в атмосфере инертных защитных или восстановительных газов.

Защитная среда способствует удалению пленок поверхностных окислов. В вакууме происходит их разложение (диссоциация) и испарение или восстановление окисных пленок до основного металла в среде восстановительного газа.

На рисунке 33 изображена принципиальная схема диффузной сварки.

Процесс диффузной сварки выполняют следующим образом (рис. 33): *свариваемые заготовки 4* центрируют в *оправках 3, 6*, устанавливают в *рабочую камеру 2*, в которой создают вакуум или заполняют ее защитным газом. После этого нагревают заготовки до

температуры рекристаллизации более легкоплавкого материала и прикладывают давление с помощью, например *пнеumo, гидро– или механических устройств 1*.

Давление создают порядка 1–20 МПа в течение 5–20 минут. После охлаждения деталей образуется сварное соединение. Нагрев осуществляют при помощи внешнего либо внутреннего нагревателя. Используют нагрев электрическим током, при помощи индуктора ТВЧ (токами высокой частоты), при помощи электронного луча в вакууме. Время выдержки зависит от свойств материала и его размеров.

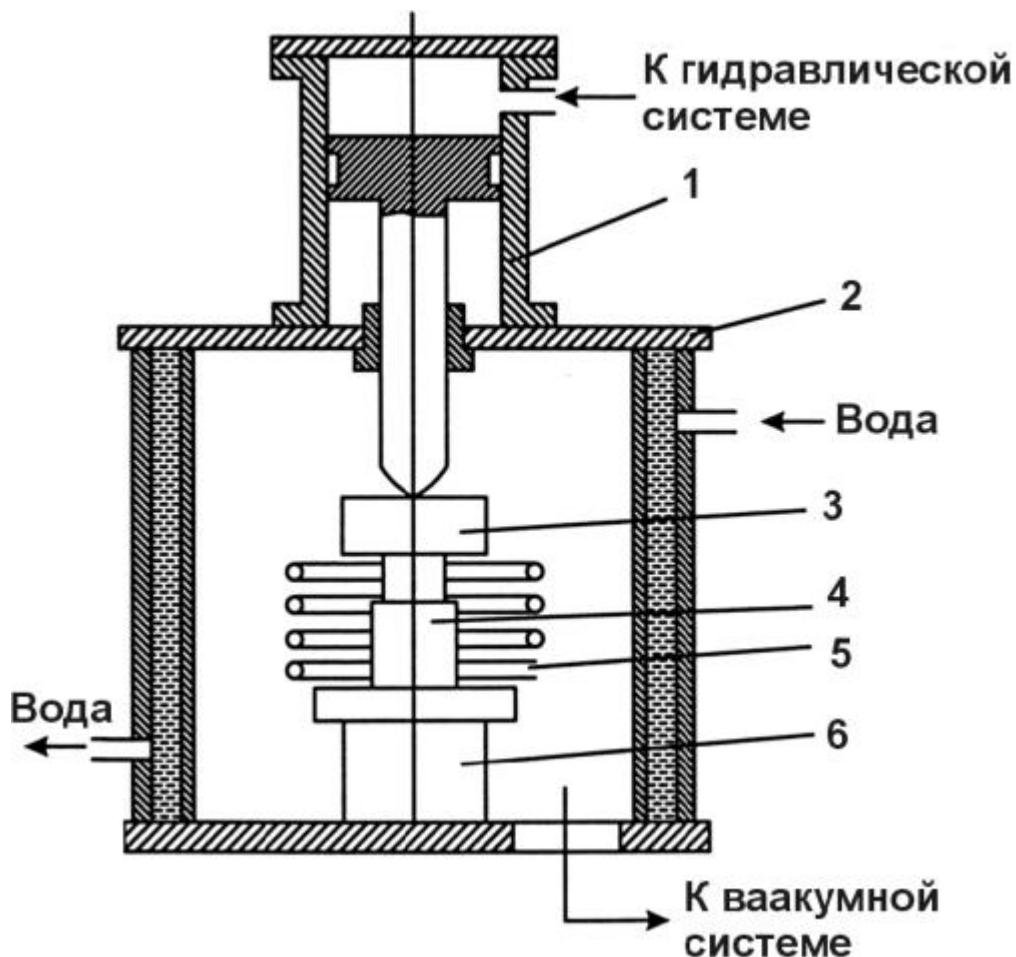


Рис. 33.

Схема диффузной сварки:

1 – механизм создания давления; 2 – рабочая камера; 3, 6 – оправки; 4 – свариваемые детали; 5 – нагреватель

Основные технологические параметры диффузной сварки:

- давление на свариваемые детали;
- температура нагрева заготовок;
- степень разрежения в вакуумной камере;
- время нагрева и время сжатия деталей.

Процесс сварки с помощью диффузного соединения условно разделяют на две стадии:

- *1-я стадия* – нагрев материала и приложение давления, что вызывает пластическое течение микровыступов, разрушение и удаление различных пленок на поверхностях контакта. Образуются многочисленные участки с непосредственной связью материалов;
- *2-я стадия* – ликвидация микровыступов и образование объемной зоны соединения.

Оборудование для диффузной сварки:

- вакуумная установка с системами для подъема и опускания камеры;
- системы для создания регулируемого давления на заготовки;
- устройства нагрева заготовок (индукторы ТВЧ, электроннолучевые нагреватели);
- системы управления установкой и контроля.

Преимущества диффузной сварки:

- отсутствие загрязнений в соединении (нет припоев, флюсов, электродов);
- возможность соединений в различных сочетаниях металлов, сплавов, различных материалов независимо от их твердости, взаимного смачивания;
- возможность сваривать биметаллические, триметаллические и тетраметаллические детали;
- получение высокопрочных соединений без изменения физико-химических свойств свариваемых материалов;
- отсутствие какой-либо механической обработки после сварки;
- возможность соединений материалов различных толщин;
- высокая степень автоматизации процесса сварки;
- относительно низкие энергозатраты при высокой рентабельности сварки.

Недостатки диффузной сварки:

- относительная сложность оборудования требует подготовки кадров.

Диффузную сварку широко применяют в ракетно-космической технике, в самолетостроении, приборостроении, пищевой и медицинской промышленности и других отраслях. Этот способ применяют для сварки ответственных деталей турбин, при изготовлении металлокерамики, узлов вакуумных приборов, высокотемпературных нагревателей, при производстве инструмента и т. д.

Выпускаются установки диффузной сварки для единичного производства (с ручным управлением) и для серийного производства (с полуавтоматическим и автоматическим программным управлением).

Газопрессовая сварка

При газопрессовой сварке используют традиционный источник тепловой энергии, характерный для сварки плавлением, – *газовое пламя*. Одновременно с положительным воздействием нагрева и давления защитная атмосфера в зоне сварки интенсифицирует образование качественного соединения.

Схема газопрессовой сварки показана на рисунке 34.

При сварке газопрессовым способом *детали 2, 4* фиксируют в *зажимах 1, 5* и прогревают с поверхности стыка или с торца до температуры пластического состояния, а затем, прикладывая давление, обеспечивают образование сварного соединения. Регулируя состав газов, можно получать как окислительную, так и восстановительную атмосферу в газовом факеле. Этим можно оказывать определенное положительное воздействие на процесс образования сварочного соединения. Газопрессовая сварка достаточно широко применяется, например, при производстве электровакуумных приборов и в других сферах производства, благодаря простоте процесса сварки, доступности оборудования и низкой квалификации персонала.

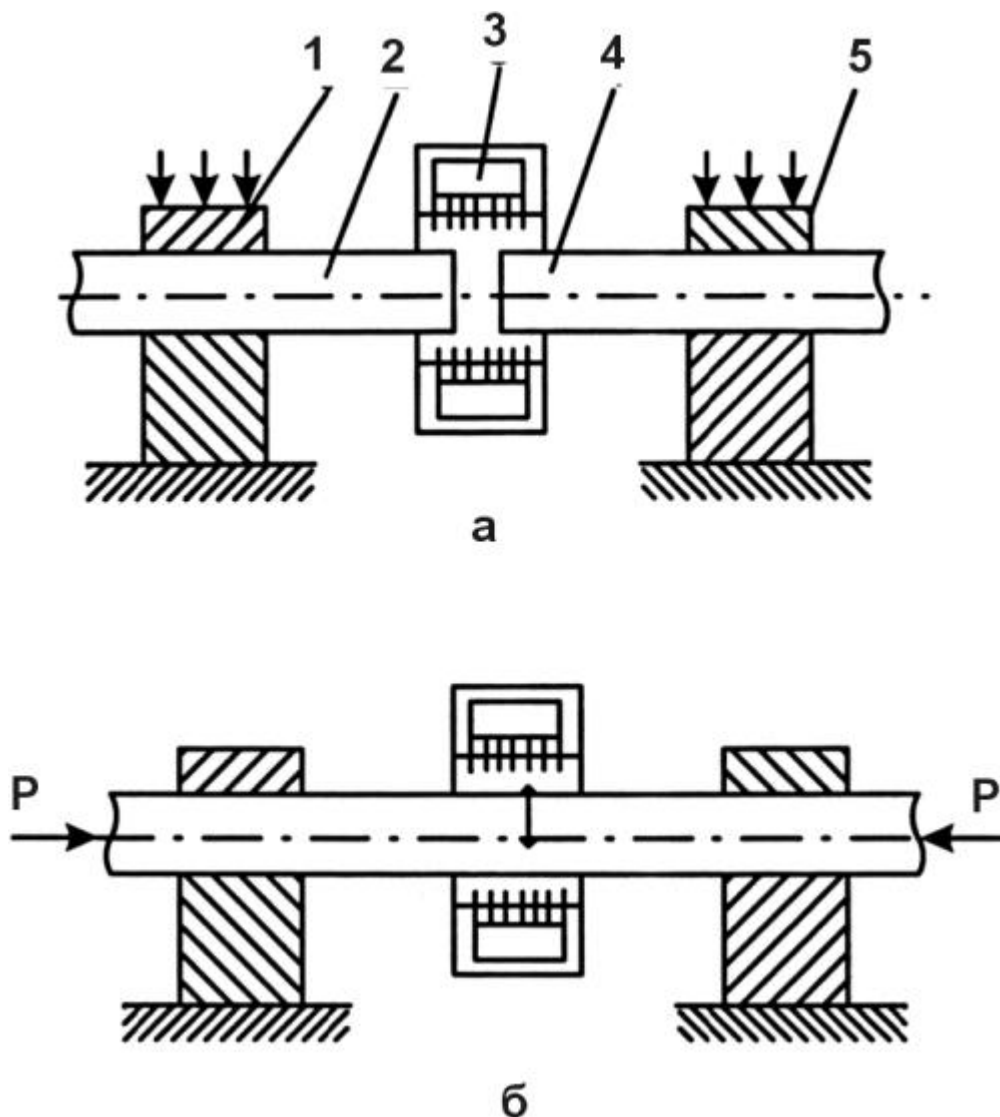


Рис. 34.

Схема газопрессовой сварки:

*а – положение деталей перед сваркой; б – положение деталей после сварки;
1, 5 – зажимы заготовок; 2, 4 – свариваемые изделия; 3 – горелка кольцевая*

Дугопрессовая сварка

Дугопрессовая сварка используется для присоединения деталей типа шпилька к пластине или к массивной плите. В качестве электрода выступает сама деталь. Для получения теплоты используется энергия электрической сварочной дуги.

Схема процесса дугопрессовой сварки показана на рисунке 35.

При отводе *детали 2* от *пластины 3* включают электрическую цепь, при этом возбуждаемая электрическая дуга расплавляет материал шпильки и пластины. После этого отключают электрическую цепь и ударом шпильки о пластину производят соединение деталей.

Поверхностные окислы и загрязнения при этом выдавливаются из зоны сварки вместе с жидким металлом, и образуется соединение высокого качества. Для повышения качества соединения сварка может производиться в защитной среде, например в среде азота, углекислого газа.

Процесс дугопрессовой сварки может быть легко механизирован. При производстве дугопрессовой сварки используется аппаратура для обычной электродуговой сварки.

Дугопрессовую сварку можно применять при производстве строительных элементов, например для сварки арматурных стержней с закладными деталями.

Сварка аккумулированной энергией

Сущность процесса сварки аккумулированной энергией заключается в том, что кратковременные сварочные процессы осуществляются за счет энергии, запасенной в соответствующем приемнике, непрерывно заряжающем и периодически разряжающемся на свариваемые детали.

Существуют четыре разновидности сварки аккумулированной энергией:

- *конденсаторная сварка;*
- *инерционная сварка;*
- *электромагнитная сварка;*
- *аккумуляторная сварка.*

Накопление энергии соответственно происходит в конденсаторной батарее, во вращающихся частях генератора, в магнитном поле специального сварочного трансформатора и в аккумуляторной батарее.

Наиболее широкое промышленное применение получила *конденсаторная сварка*. Этот способ сварки по характеру протекания процессов близок к дугопрессовой сварке.

Энергия в конденсаторах накапливается при их зарядке от источника постоянного тока (генератора или выпрямителя). Затем в процессе разрядки запасенная энергия мгновенно подается в зону сварки. Накопленную в конденсаторе электрическую энергию можно регулировать, изменяя емкость конденсаторной батареи и напряжение ее зарядки.

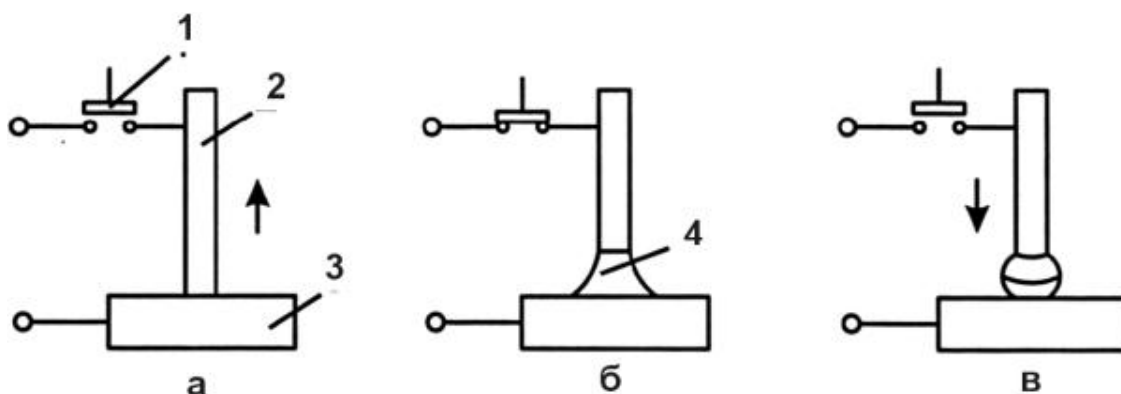


Рис. 35.

Схема дугопрессовой сварки (стрелка показывает направление сжатия);

а – положение деталей перед сваркой; б – разогрев свариваемых кромок; в – соединение деталей. 1 – выключатель тока; 2 – шпилька (электрод); 3 – пластина; 4 – дуговой разряд

Энергию заряда конденсатора можно определить по формуле:

$$A = C \times U^2 / 2,$$

где A – энергия заряда (Дж);

C – емкость конденсатора (Ф);

U – напряжение зарядки конденсатора (В).

При конденсаторной сварке возможна точная регулировка и дозировка количества энергии зарядки, не зависящая от внешних условий, в частности от нестабильности питающей сети.

В настоящее время используются две схемы конденсаторной сварки (рис. 36):

- *бестрансформаторная конденсаторная сварка;*
- *трансформаторная конденсаторная сварка.*

В обеих схемах запасенная в виде емкостного заряда энергия разряжается за короткое время (10^{-3} – 10^{-4} с) на электроды, сжимающие заготовки. Высокая плотность тока способствует мгновенному разогреву места сварки, что обеспечивает небольшую зону термического влияния при скоростном процессе.

При бестрансформаторной (рис. 36а) сварке концы обкладок конденсатора подключены непосредственно к *свариваемым деталям 2, 3*. При этом один из выводов жестко закреплен, а другой может перемещаться в направляющих. При освобождении *защелки 6* под действием *сжатой пружины 5* деталь быстро переместится по направлению к неподвижной заготовке. Перед соударением, в промежутке 1–3 мм, между деталями возникает мощный дуговой разряд энергии, накопленной в конденсаторе С. Этот искровой пробой, переходящий в дуговой разряд, успевает частично оплавить торцы обеих *заготовок 2, 3*, которые после соударения свариваются между собой под действием усилия осадки. При ударном сжатии деталей поверхностная прослойка жидкого металла вытесняется из зоны сварки, что способствует образованию качественного сварного соединения.

Способом бестрансформаторной конденсаторной сварки можно сваривать встык проволоку и тонкие стержни разной толщины из разнородных материалов: вольфрам-никель, медь-константан, молибден-никель и т. п.

Трансформаторная конденсаторная сварка (рис. 36б) отличается тем, что конденсатор разряжается на обмотку сварочного трансформатора T_2 .

При этом способе сварки сжимают заготовки между электродами, заряжают конденсатор, который разряжают на первичную обмотку сварочного трансформатора. В результате во вторичной обмотке сварочного трансформатора индуцируется ток большой величины, с энергией, достаточной для сплавления деталей.

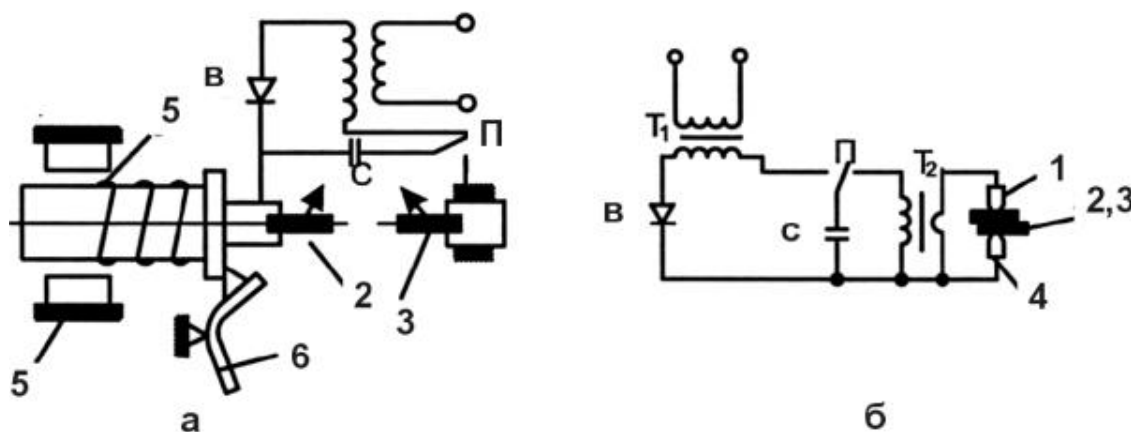


Рис. 36.

Схемы конденсаторной сварки:

а – бестрансформаторная конденсаторная сварка; б – трансформаторная конденсаторная сварка. Т₁ – трансформатор повышающий; Т₂ – трансформатор сварочный; С – конденсаторная батарея; В – выпрямитель переменного тока; П – переключатель; 1, 4 – электроды; 2, 3 – свариваемые заготовки; 5 – пружина; 6 – защелка

Преимущества конденсаторной сварки:

- точная дозировка запасенной энергии;
- независимость от колебаний питающей сети;

- малое время протекания тока (10^{-3} – 10^{-4} с);
- небольшая зона термического влияния;
- низкая потребляемая мощность (0,2–2 кВА);
- высокая степень автоматизации процесса;
- возможность сваривать материалы малых толщин (до нескольких микрон).

Конденсаторная сварка широко применяется в производстве приборов для точной механики (авиационные, часовые, прецизионные), в производстве радиоэлементов и т. п.

Глава 4

Металлы и сплавы. Основные свойства и понятия

Сварщик работает с металлами и их сплавами. Для понимания процессов, происходящих при сварке, необходимо владеть основными понятиями, знать основные свойства металлов и сплавов.

Что такое металлы? Более 200 лет назад великий русский ученый М. В. Ломоносов (1711–1765) в своем знаменитом труде «Первые основания металлургии или рудных дел», написанном в 1763 году, дал металлам такое определение: «металлы суть ковкие светлые тела». Для того времени краткая формулировка была достаточно верной и точной. Ломоносов назвал шесть основных металлов: золото, серебро, медь, железо, свинец и олово.

Позже Мейер (1897) в своем энциклопедическом словаре дал уже расширенное определение металлам: «элементы, которые являются хорошими проводниками тепла и электричества, обладают характерным сильным блеском, непрозрачны (в не слишком тонком слое) и образуют с кислородом соединения преимущественно основного типа».

С развитием науки происходили открытия все новых элементов. Открытые элементы необходимо было классифицировать какими-то другими определениями.

К чему причислять новые элементы?

Выход из тупика нашел знаменитый русский ученый Д. И. Менделеев (1834–1907). Его таблица и периодическая система элементов получили всемирное признание. Одновременно с Д. И. Менделеевым и независимо от него подобную систему разработал немецкий химик Лотар Мейер (1830–1895). Права на открытия принадлежат обоим ученым. Однако Менделеев предсказал по своей таблице свойства еще не открытых элементов и определил их свойства теоретически. Это были элементы *галлий* и *германий*. В то время было известно 63 элемента, из них около 50 – металлы.

Дальнейшие исследования свойств металлов с помощью оптического микроскопа (увеличение до 1500 раз), а затем при помощи электронного микроскопа (увеличение 20–100 000 крат) позволили заглянуть внутрь металла.

Русский ученый П. П. Аносов в 1831 году впервые в мировой практике применил оптический микроскоп для исследования микроструктуры металлов, став основоположником изучения металлов методом микро– и макроанализа. Кроме того, он первым в мировой практике обратил внимание, что свойства *стали* зависят не только от ее химического состава, но и от структуры.

Исследование при помощи оптики показало строение металлов как кристаллических веществ. Электронная металлография позволила наблюдать дефекты в кристаллах в виде различных дислокаций-смещений, перестановок.

Итак, что нам сегодня известно о металлах?

Металлы обладают различными свойствами. Общими свойствами металлов является *характер зависимости электропроводности от температуры*. Свойства металлов объясняются их строением: распределением и характером движения электронов в атомах; расположением атомов, ионов и молекул в пространстве; размерами, формой и характером кристаллических образований.

Электронное строение металлов определяется периодической системой Д. И. Менделеева. В полном соответствии со сходством в электронном строении элементы одной группы имеют и сходные свойства.

К таким периодически изменяющимся свойствам металлов относятся: *твердость, абсолютная температура плавления, средний коэффициент теплового расширения, атомный объем и др.*

В природе металлы, за исключением золота, серебра, платины и меди, существуют в составе химических соединений – окислов, сульфатов и прочих, образующих руды. Из руды различными металлургическими способами извлекают металлы: дроблением руды, обогащением и сепарацией и далее выплавкой соответственно чугуна или слитков цветных металлов. Чугун используется собственно и как чугун, как материал для выплавки сталей.

Стальные слитки и слитки цветных металлов в дальнейшем перерабатываются для сортового проката в виде *рельсов, балок, прутков, полос, листов, уголков, швеллеров, проволоки и т. п.* Соответственно, выпуском чугуна и сталей занимается черная металлургия, а производством цветных металлов – цветная металлургия.

Технически чистые металлы характеризуются низкой прочностью и высокой пластичностью, поэтому в технике применяют различные металлические сплавы. *Сплав* – вещество, полученное сплавлением двух или более элементов.

Элементами сплавов могут быть металлы и неметаллы. Эти элементы называются *компонентами сплава*. В сплавах, кроме основных элементов, могут содержаться *примеси*. Примеси могут быть полезными, если они улучшают свойства сплава, или вредными, если они ухудшают свойства сплава. Примеси можно выделить как специальные, которые ввели в сплав для придания ему требуемых свойств, так и случайные, попавшие в сплав случайно при его приготовлении.

Сплавы делятся по следующим признакам:

- *черные сплавы* на основе железа – это *стали и чугуны*;
- *легкие цветные сплавы* с малой плотностью на основе алюминия, магния, титана, бериллия;
- *тяжелые цветные сплавы* с высокой плотностью на основе меди, свинца, олова и др.;
- *легкоплавкие цветные сплавы* на основе цинка, кадмия, олова, и др.;
- *тугоплавкие цветные сплавы* на основе молибдена, ниобия, циркония, вольфрама, ванадия и пр.

Кристаллическое строение металлов

Все металлы в твердом состоянии имеют кристаллическое строение. Атомы в твердом металле расположены упорядоченно и образуют *кристаллические решетки*. Расстояние между атомами называют *параметрами кристаллической решетки* и измеряют в *нанометрах*. Типы кристаллических решеток изображены на рисунке 37.

Свойства металлов таковы, что при повышении температуры или давления параметры решеток могут изменяться. Некоторые металлы в твердом состоянии при различных температурах изменяют строение своих кристаллических решеток, что всегда приводит к изменению физико-химических свойств металлов.

Существование одного и того же металла в нескольких кристаллических формах носит название *аллотропии*, или *полиморфизма*. Температура при этих фазовых превращениях называется *критической*, а перестройка кристаллических форм – *полиморфными превращениями*.

Основоположителем изучения термических превращений в сталях (сплавах «железо-углерод») был русский ученый Д. К. Чернов. Им было открыто, что при нагреве твердой стали до определенных температур, зависящих от ее состава, в ней происходят внутренние превращения, приводящие к изменению свойств. Открытие Д. К. Чернова, получившее всемирное признание в 1868 году, показало связь между составом, строением и свойствами стали. Работы Чернова легли в основу учения о термообработке стали. Им были открыты дендритные кристаллы, критические точки термических превращений и теория литья стали и сплавов, изучены процессы кристаллизации слитков металла.

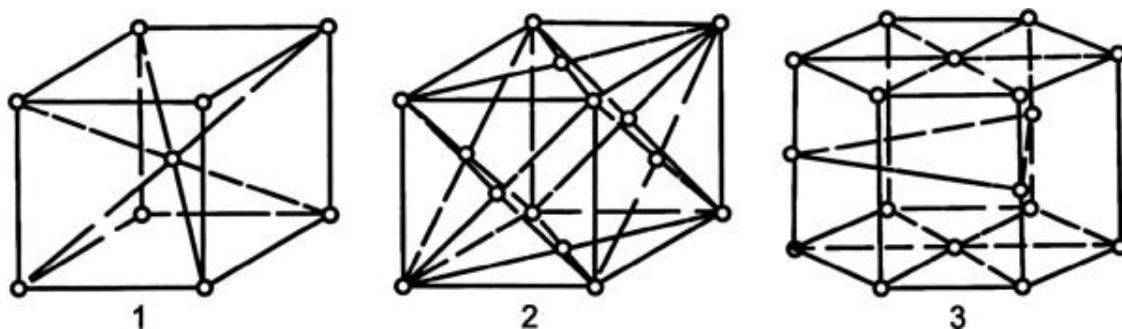


Рис. 37.

Кристаллические решетки металлов:

1 – объемно-центрированного куба (ОЦК); 2 – гранецентрированного куба (ГЦК);
3 – гексагональная плотно упакованная решетка (ГПУ)

Кристаллическое строение и кристаллизация сплавов

Строение сплавов более сложное, чем строение чистого металла, и зависит от взаимодействия компонентов при кристаллизации.

Компоненты сплава при кристаллизации могут образовывать:

- *твердые растворы*, когда элементы сплава взаимно растворяются один в другом;
- *механическую смесь* – при полной взаимной нерастворимости, когда сплав состоит из смеси кристаллов составляющих ее компонентов;
- *химическое соединение*, при котором компоненты сплава вступают в химическое взаимодействие, образуя новую кристаллическую решетку.

Процесс перехода сплава из жидкого состояния в твердое с образованием кристаллических решеток (кристаллов) называется *первичной кристаллизацией*. Свойства металлических сплавов зависят от образующейся в процессе кристаллизации *структуры*. Под структурой понимают наблюдаемое кристаллическое строение сплава. Процесс кристаллизации начинается с образования кристаллических зародышей – *центров кристаллизации*.

Скорость кристаллизации зависит от скорости зарождения центров кристаллизации и скорости роста кристаллов в прямой зависимости, т. е. чем выше скорость роста кристаллов и больше число образующихся зародышей, тем быстрее протекает процесс кристаллизации сплава. Внутренняя структура сплава зависит от формы ориентировки кристаллических решеток в пространстве и скорости кристаллизации.

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.