



ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОБЛАДНАННЯ ЗВАРЮВАННЯ ПЛАВЛЕННЯМ

Автори: д. т. н. Лузан С.О., к.т.н. Костіна Л.Л.

Лабораторна робота 6.

**ВИВЧЕННЯ БУДОВИ ТА ПРИНЦИПУ РОБОТИ
УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАЗМОВОГО ЗВАРЮВАННЯ.
ТЕХНОЛОГІЧНЕ ВИПРОБУВАННЯ УСТАНОВКИ.**

Мета роботи

**Вивчення будови та принципу роботи установки для
плазмового зварювання та придбання навичок з її
експлуатації.**

Загальні положення

Установка для плазмового зварювання МПУ-4 призначена для ручного зварювання чорних, кольорових, легких і тугоплавких металів і сплавів малої товщини (від 0,1 до 1,5 мм)

Установка може бути використана як джерело живлення для механізованих видів плазмового зварювання.



IE05758

**Галузь використання:
електронна промисловість,
авіаційна і космічна техніка, хімічна і,
харчова промисловість, медична техніка,
машинобудування та виробництво
промислових установок,
автомобілебудування та т.ін.**



Електрична потужність, споживана установкою, кВт	1,5
Витрата газу, л/хв: Плазмообразуючого Захисного	0,2 – 0,5 2,0 – 4,0
Маса установи, кг	200

Установка забезпечує чотири режими роботи: режим «А» – зварювання постійним струмом прямої полярності з плавним регулюванням сили струму від 2,5 А до 30 А; режим «В» - зварювання імпульсним струмом прямої полярності з плавним регулюванням тривалості імпульсів та пауз у межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с точністю $\pm 10\%$; режим «С» – зварювання імпульсним струмом різної полярності з плавним регулюванням сили струму прямої полярності від 2,5 А до 30 А, дискретним регулюванням тривалості імпульсів прямої полярності та струму зворотньої полярності від 4 А до 12 А й тривалості імпульсів струму зворотньої полярності в межах 0,02; 0,03; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 с; режим «D» – зварювання постійним струмом зворотньої полярності з плавним регулюванням сили струму від 4 А до 12 А.



Сила струму основної дуги прямої полярності в безупинному режимі при довжині дуги 3 – 6 мм:
на 1 ступені – 2,5 . . . 10 А
(тумблер S2 у положенні «10 А»);
на 2 ступені – 8 . . . 30 А
(тумблер S2 у положенні «30 А»).

Сила струму основної дуги зворотньої полярності в безупинному режимі при довжині дуги 2 – 3 мм – 4 . . . 12 А. Довжина основної дуги прямої полярності при силі струму зварювання 2,5 А – не менш 3 мм. Довжина основної дуги зворотньої полярності при силі струму зварювання 6 А – не менш 2 мм.

Установка змонтована в одному корпусі і містить у собі платформу на чотирьох поворотних колесах; каркас та кожух із кришкою і дверцятами; блок трансформаторів основних та допоміжних джерел струму; механізм переміщення рухливих котушок вторинних обмоток трансформатора з указівкою їхнього положення; передню панель на передніх дверцятах (выпрямители основної дуги), осцилятори поджигу, елементи електронного комутатора); розподільну панель усередині кожуха; блок резисторів; систему охолодження; систему постачання установки газами; пальник з шлангом.

Особенности сварочного источника: Четыре различных типа режима работы;— хорошие характеристики сварки благодаря стабильной плазменной дуге,— начиная с 1,5А; точная плазменная дуга для целенаправленного и концентрированного— подвода тепла, высокая скорость сварки, небольшие зоны термического влияния, незначительные деформации деталей и глубокое проплавление; мощные аппараты, идеальные для многосменной работы в производстве— благодаря большой продолжительности включения сварочного аппарата; стабильные результаты благодаря отдельному инвертору для пилотной— дуги (регулировка 1-10А); настройка расхода плазмообразующего и защитного газов на аппарате с— расходомерами и наличие кнопки проверки газа регулируемый ток пилотной дуги;— простое управление;— индикация данных сварки - сварочного тока и напряжения;— режимы работы: возможность задания полярности, вида сварочного— тока; пусковой, сварочный и уменьшенный сварочный ток, нарастание и спад— тока, продувка газом после окончания сварки с плавной регулировкой.

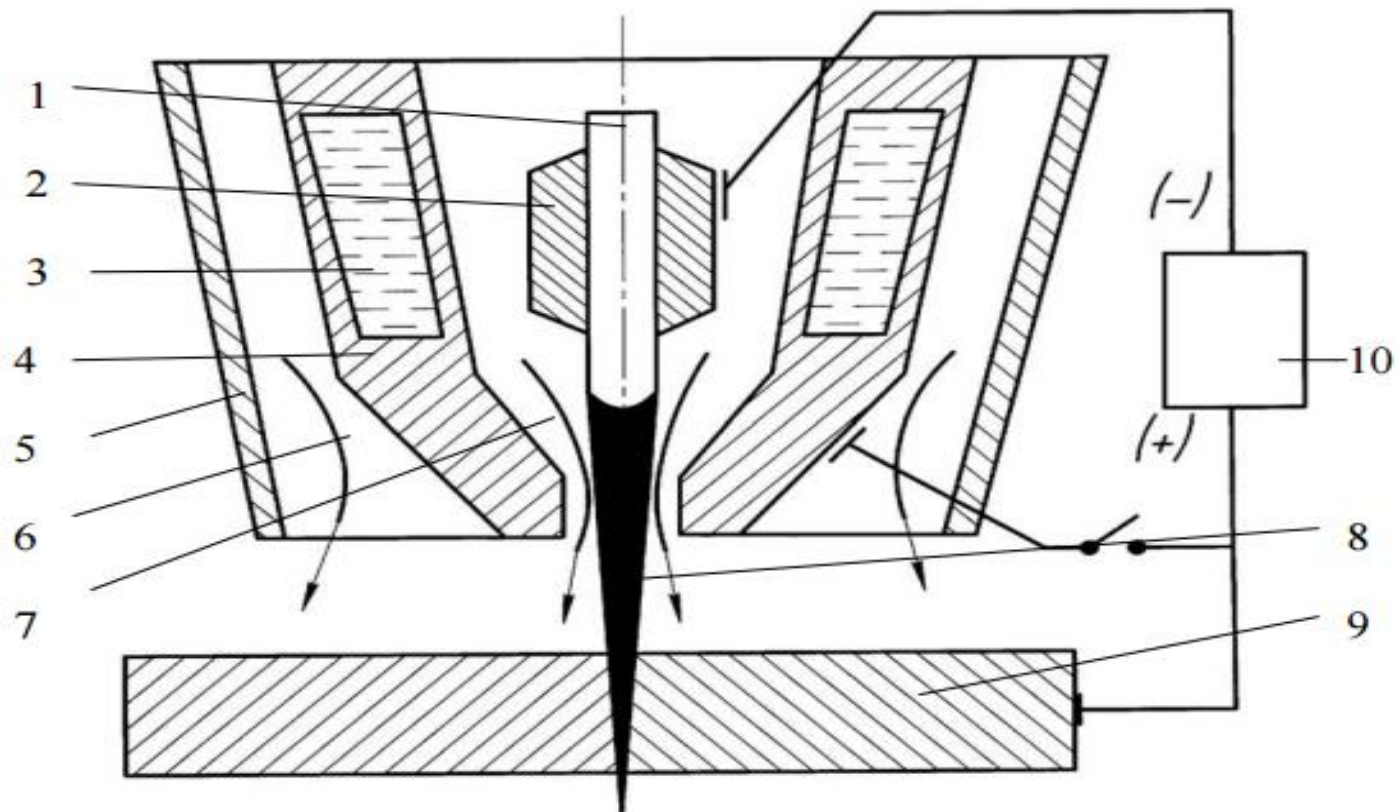


Рис. 1. Схема плазмотрона – сварочной горелки для плазменной сварки и наплавки

1 – неплавящийся электрод, 2 – зажимная цанга, 3 – каналы для воды, 4 – внутреннее плазмобразующее сопло, 5 – внешнее газозащитное сопло, 6 – защитный газ, 7 – плазмобразующий газ, 8 – плазменная дуга, 9 – изделие, 10 – источник сварочного тока.

Аппараты для плазменной сварки



Установка для плазменной сварки и резки металлов

УПС-301 предназначена для микроплазменной сварки черных и цветных металлов (кроме алюминия, магния и их сплавов) толщиной 0,5... 1,5 мм в непрерывном и импульсном режимах горения дуги. Особенности сварочного источника: безынерционное плавное регулирование сварочного тока в установке— основанное на изменении индуктивного сопротивления одного из двух трехфазных дросселей переменного тока, включенных последовательно со вторичными обмотками трехфазного сварочного

трансформатора, имеющего жесткую вольт-амперную характеристику. Стабильные результаты благодаря отдельному инвертору для пилотной дуги (регулировка 1-10А) настройка расхода плазмообразующего и защитного газов на аппарате с— расходомерами и наличие кнопки проверки газа регулируемый ток пилотной дуги— оптимальная защита плазменной сварочной горелки за счет встроенного реле расхода для охлаждающей жидкости. Аппарат обеспечивает снятие напряжения с плазмотрона при преднамеренном или случайном обрыве дежурной дуги, а также плавное гашение дуги в конце процесса сварки. Простое управление: индикация данных сварки - сварочного тока и напряжения; установка снабжена выносным пультом дистанционного управления.



Аппарат воздушно-плазменной резки **МПУ-2** предназначен для сварки и плазменной резки постоянным током любого металлопроката. Установка обеспечивает резку любой стали и алюминия и их сплавов толщиной от 0.5 до 30 мм, меди и ее сплавов от 0.5 до 12 мм при температуре окружающей среды от -40° до +40°С и относительной влажности воздуха 80%. Выпускается в двух модификациях: МПУ2-УЗ и МПУ2-Т с аналогичными техническими характеристиками. МПУ-2.Т - транспортный вариант, установка устойчива к вибрации, крепится ко дну кузова автомобиля или железнодорожной платформы.

Аппараты для плазменной сварки



Установка микроплазменной сварки **УСГ-2и** предназначена для механизированной прецизионной аргоно-дуговой и микроплазменной сварки узлов приборного типа из чёрных и цветных металлов, кроме алюминия, в импульсном или непрерывном режимах герметичными и вакуумно-плотными швами с минимальной зоной термического влияния.

Микроплазменный способ позволяет сваривать изделия с толщиной стенок от 60 мкм с большой скоростью. Внешний вид установки микроплазменной сварки «УСГ-2и»

Источники «**Microplasma 20**», «**Microplasma 50**», «**Microplasma 120**» позволяют реализовать микроплазменную сварку постоянным током прямой полярности листов, проволоки, фольги, сетки из низкоуглеродистых, низко- и высоколегированных сталей, никеля, меди, золота, титана, циркония и их сплавов, листов с покрытием, а также плазменную пайку оцинкованных листов.



«**Microplasma 20**»



«**Microplasma 50**»



«**Microplasma 120**»

Аппараты для плазменной сварки



Особенности аппарата **Primotec phaser mx2**: самое передовое и надежное электронное оборудование высокой-мощности; легкая регулировка величины мощности и продолжительности- импульса, а следовательно, и диаметра точки сварки; импульсная излучаемая мощность с очень малой зоной термического- воздействия; 40 предварительных установок, 10 предварительно заданных программ- для всех типов сплавов, включая сплавы палладия, и четыре энергетических уровня - микро, низкий, средний, высокий - для каждой программы; технология моделирования импульса для нанесения более ровных и- чистых точек сварки; высокочастотное перекрытие импульсов для обеспечения более гладкой и плотной поверхности сварных точек;

четыре различных режима сварки: импульсная дуга - микродуговая - контактная - сварка со стержнем; три различных режима зажигания мягкий - стандартный - глубокий;- пять предварительно установленных языков - английский, немецкий,- французский, итальянский, испанский; максимальная частота импульсов 2Гц;- звуковая сигнализация процесса сварки;- автоматическая установка времени предварительной подачи газа - в- зависимости от выбранной частоты; очень низкий расход газа, максимально 1-2 л/мин;- компактные размеры, небольшой вес;- бесшумная работа (отсутствует вентилятор или насос);- не требует технического обслуживания;- стереомикроскоп с 10 кратным увеличением;- мощное светодиодное освещение без бликов и теней;- электронный обтюратор;- поворотный кронштейн для ручки, шарнирный;- дополнительная ножная педаль;- простая и безопасная защита инертным газом, инертный газ (аргон 5)- подается через ручку, непосредственно в зону сварки; ручку можно использовать на подставке или как свободно- перемещаемый инструмент; ручка имеет функцию idb (мгновенный возврат в исходное положение)

Особенности установки для микроплазменной сварки **NERTAMATIC 51**: 100 программ- вывод данных на ЖК-дисплей;- изменение параметров во время сварки;- возможность распечатки программы;- встроенный блок управления процессами;- плазма 80 мА до 50 А при 100%;- непрерывная сварка в режиме прямого тока или пульсирующем режиме;- TIG 0.8 А до 50 А при 60%;- частота пульсации от 1 Гц до 10 кГц;- трехфазное основное питание;- 50/60 Гц - 230/400/440 В.- 1.2.3 Primotec (Германия)



Аппараты для плазменной сварки

Микроплазменно-дуговые сварочные аппараты «**PlasmaJet**» («PlasmaJet 50» ... «PlasmaJet 100») применяются для сварки изделий из нержавеющей стали в электронной промышленности, автомобильной промышленности при производстве станков и промышленного оборудования.

сварка микроплазмой в диапазоне 0,5 – 25А;– встроенное водяное охлаждение;– режимы работы 2-тактный / 4-тактный / плазменная точечная сварка;– разъем для дистанционного управления с помощью ножной педали или– через ключ в сварочной горелки; цифровой 3-разрядный дисплей сварочного тока для заданных и– текущих значений; хорошее качество горения дуги из-за инверторной технологии;– управление током сварки в начале и конце цикла;– мониторинг расхода охлаждающей жидкости для защиты плазменной– горелки от перегрева; встроенный расходомер для точной настройки пилотного и защитного– газа; импульсный режим работы (0,2 - 25 Гц);– подвижные ролики с тормозами;– изменяемые параметры сварки: пилотный ток, основной ток, ток паузы,– время импульса и паузы; индикаторы: пилотный ток, ток сварки, напряжения сети, расход воды,– превышение температуры; центральное соединение для сварочной горелки

20.8. Плазменная сварка

Сварка плазменной дугой находит все более широкое применение в различных отраслях техники.

По сравнению со сваркой в инертных газах в связи с более высокой проплавающей способностью плазменная сварка имеет следующие преимущества: повышенную производительность, меньшую зону термического влияния, более низкие деформации при сварке, пониженный расход защитных газов, более высокую стабильность горения дуги и меньшую чувствительность качества шва к изменению длины дуги.

Для получения плазменной дуги служит устройство, называемое *плазмотроном*. Существует два типа плазмотронов — с дугой прямого (рис. 20.11, а) и косвенного (рис. 20.11, б) действия.

В *плазмотронах прямого действия* плазменная дуга возбуждается между стержневым (как правило, вольфрамовым) электродом 1, смонтированным в газовую камеру 2, и свариваемым изделием 4. Сопло 3 электрически нейтрально и служит для сжатия и стабилизации дуги.

В *плазмотронах косвенного действия* плазменная дуга возбуждается между электродом 1 и соплом 3.

Процесс возбуждения дуги непосредственно между электродом и изделием осуществить очень трудно. В связи с этим сначала возбуж-

Свойство [плазменной дуги](#) — глубоко проникать в металл — используется для [сварки металлов](#). Благоприятная форма образовавшейся ванны позволяет сваривать достаточно толстый металл (10—15 мм) без специальной разделки кромок. [Сварка плазменной дугой](#) отличается высокой производительностью и благодаря стабильности [горения дуги](#) хорошим качеством. Маломощная [плазменная дуга](#) при [силе тока](#) 0,1...40 А удобна для сварки тонких листов (0,05 мм)

плазменная сварка по сравнению с обычной [дуговой сваркой](#), плазменная плавка по сравнению с плавкой в электродуговых печах имеют невысокий к. п. д., однако из-за более высокой стабильности и надежности, определяющих хорошее [качество продукции](#), они получают широкое применение в различных отраслях промышленности. Разновидностью [аргоно-дуговой сварки](#) является способ [сварки плазменной дугой](#). [Отличительная особенность](#) этого способа по сравнению с обычной [аргоно-дуговой сваркой](#) заключается в более [высокой температуре столба дуги](#) вследствие [сжатия дуги](#) потоком аргона, пропускаемого через сопло ограни-

Плазменная сварка. Тепло, потребное для расплавления металла в месте сварки, получают за счет [плазменной струи](#) — потока ионизированных частиц, обладающих большим запасом энергии. Температура [плазменной струи](#) достигает 20 000° К. [Плазменная струя](#) получается следующим образом. В замкнутом цилиндрическом канале горит [электрическая дуга](#) значительной длины. Стенки цилиндра интенсивно охлаждаются. Через канал в цилиндр подается инертный газ, который, охлаждая наружную поверхность [столба дуги](#), вызывает его концентрацию, в результате чего температура столба достигает 10 000—20 000° К, а газ, проходящий через межэлектродное пространство, получает высокую [степень ионизации](#) и большой запас энергии. Этой струей и [производят нагрев](#) в [процессе сварки](#). Плазменную сварку применяют для [наплавки покрытий](#) из [тугоплавких металлов](#), резки, термообработки, пайки. Разрешается варить тонколистовые материалы из тугоплавких металлов.

Сварка плазменной дугой производится от источника питания 1. Для зажигания дуги применяется высокочастотный генератор 2. Плазменная дуга горит между неплавящимся электродом 3 и свариваемым изделием в. Плазменная горелка охлаждается водой, подаваемой через штуцер 5, Плазменная дуга горит в среде аргона (или смеси аргона и водорода), который подается в кольцевое пространство 4 сопла. Для сжатия плазмы применяется защитный газ 6, подаваемый в мундштук 7

В настоящее время выделен особый вид сварки — плазменная сварка, которая наряду с общими признаками имеет существенные отличия от дуговой сварки.

В плазмотронах сжатие дуги чаще всего осуществляется газовым потоком, который, проходя сквозь узкое сопло, ограничивает поперечные размеры дуги. Газ, подаваемый внутрь плазмотрона, выходит сквозь узкое отверстие в сопле, оттесняя дугу от стенок. Для устойчивой работы плазмотрона стенки сопла охлаждаются водой и при работе остаются холодными. Пристеночный охлажденный слой газа изолирует плазму от сопла как в электрическом, так и в тепловом отношении.

Поэтому дуговой разряд между электродом внутри горелки и изделием (или соплом) стабилизируется и проходит сквозь центральную часть отверстия в сопле. Способ сварки сжатой дугой часто называют также **плазменнодуговой сваркой или сваркой плазменной струей**.

Комплектация микроплазменной установки МПУ2

№ наименование	Кол-во, шт.
1 источник питания	1
2 плазмотрон (резак плазменный) РПВ-101	1
3 сопло СП-01(количество может быть увеличено по желанию заказчика)	25
4 электрод ЭП-01 (количество может быть увеличено по желанию заказчика)	25
5 кабель-шланговый пакет (длина может быть увеличена до 30 м по желанию заказчика)	10 м
6 воздушный шланг	6 м
7 кабель заземления	6 м
8 паспорт на источник питания	1
9 паспорт на плазмотрон РПВ-101	
10 комплект ЗИП	
11 болт (только для МПУ-2.Т)	
12 резиновый амортизатор (только для МПУ-2.Т)	

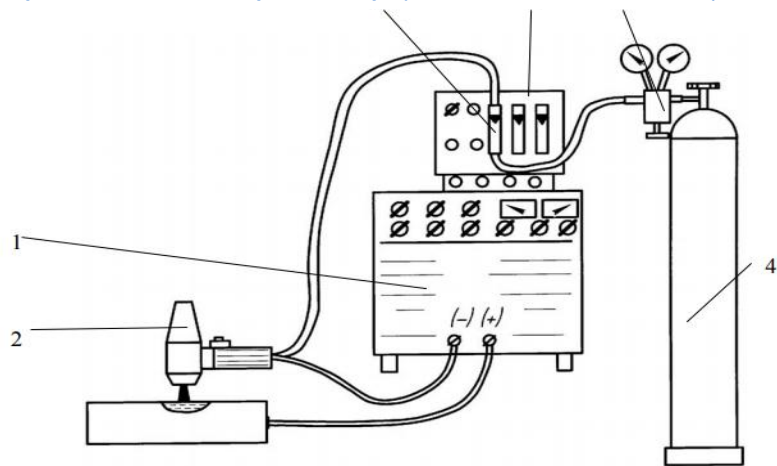


Рис. 2. Установка для плазменодуговой сварки



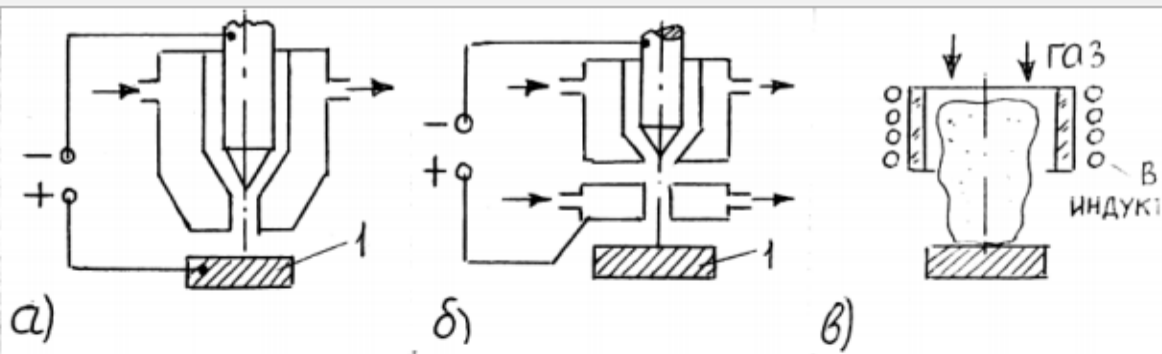
В 1923 г. американские физики Л. Тонкс и И. Ленгмюр предложили называть среду, в которой значительная часть молекул или атомов ионизирована - плазмой. Плазма является состоянием вещества, наиболее распространенном в космосе. Физические свойства плазмы – высокие значения температур, энтальпия и электропроводность – позволяют осуществлять ряд интересных физических и технических проектов. Плазма нашла применение в металлургии, в сварочном и ремонтном производстве. Для технологических целей используют так называемую “низкотемпературную” плазму с температурой 103...105 К, представляющую собой частично ионизированный газ. Для получения плазмы разработаны плазмотроны или плазменные горелки. В дуговых плазмотронах плазма с требуемыми характеристиками может быть получена при различных видах взаимодействия дуги с плазмообразующим газом: аргоном, гелием, азотом, водородом, кислородом и воздухом [1]. Плазмообразующий газ, используемый в плазмотроне, в значительной мере определяет технологические возможности плазменной струи, и его нужно выбирать в зависимости от целей процесса. Молекулярные газы – азот, водород, кислород и воздух позволяют увеличить эффективность нагрева за счет реакций диссоциации (разложения)-ассоциации (объединения). При этом происходит дополнительное поглощение теплоты в столбе дугового разряда. При попадании на обрабатываемую поверхность плазмообразующий газ ассоциирует (превращается из атомного в молекулярный); при этом выделяется теплота, затраченная на его диссоциацию. Виды плазменных источников энергии. При нагреве плазмой деталей передача энергии может осуществляться или только за счет процессов теплообмена нагретого газа с твердой или жидкой фазой (деталь электрически не связана с источником питания), или за счет суммарного действия теплообмена и электрического взаимодействия заряженных частиц плазмы с электродом-заготовкой. В связи с этим в практике плазменной технологии сложилось три основных принципиальных схемы плазмотронов. В двух схемах (рисунок 1а,б) для получения плазмы используют электрический дуговой разряд; в схеме (рисунок 1в) нагрев газа и образование плазмы осуществляется за счет безэлектродного (высокочастотного индукционного разряда). Схема (а) получила название плазменной дуги, а плазмотрон для ее получения — плазмотрон прямого действия. В схеме (б) изделие 1 гальванически не связано с электродом, поэтому схема называется плазменной струей, а плазмотрон носит название плазмотрона косвенного действия.

Характеристики плазменного источника. Основными характеристиками плазменного источника энергии является его эффективная тепловая мощность и коэффициент сосредоточенности, определяющий распределение удельного теплового потока по поверхности обрабатываемого изделия. а – прямого действия; б – косвенного действия; в – плазменной струи (б) по радиусу r и по длине l Распределение температуры плазменной дуги и плазменной струи по радиусу (r) и по длине (l) крайне неравномерны. Максимальная температура наблюдается в центре на оси плазменного потока, причем она значительно выше, чем у открытой дуги. Плотность теплового потока для плазменных источников энергии также выше, чем для открытой дуги, и достигает $6 \cdot 10^4$ Вт/см². Нагрев газа в плазмотроне приводит к резкому уменьшению плотности газа. За счет этого увеличивается скорость его истечения. Скорость потока максимальна в центре, где наблюдается максимальная температура и минимальный массовый расход газа $2 \rho \cdot V$. Максимальная температура составляет 17000 °С, а максимальная скорость достигает 2 км/с. Большая скорость потока плазмы при выходе его из плазмотрона позволяет получать значительный

газодинамический напор, который растет с увеличением силы тока. В большинстве случаев расход газа в плазмотроне превышает 1 л/с и течение горячего газа носит турбулентный характер.

Уменьшение расхода газа до значений менее 0,1 л/с позволяет получать ламинарные плазменные струи, которые отличаются большей длиной (до 0,4 м) и высокой стабильностью. В потоке плазмы можно получить практически любое вещество в молекулярной или паровой фазе.

Плазменный нагрев позволяет получать в паровой фазе нитриды и карбиды, оксиды тугоплавких металлов и неметаллы высокой чистоты. При этом можно значительно увеличить выход продуктов реакции по сравнению с другими способами проведения химических реакций. Примером таких процессов может служить плазмохимическое получение абразивных материалов на основе бора, осаждение на рабочей поверхности металлорежущего инструмента нитрида титана и т.д.



а – прямого действия; б – косвенного действия; в – плазмотрон с высокочастотным индукционным разрядом

Рисунок 1 — Основные схемы плазмотронов.

Для плазменной дуги эффективная тепловая мощность равна:

$$q = U \cdot I \cdot \eta_u, \text{ Вт}$$

где U – напряжение дуги, В;

I – сила тока дуги, А;

η_u – эффективный КПД процесса плазменного нагрева, учитывающий потери энергии при передаче ее к изделию.

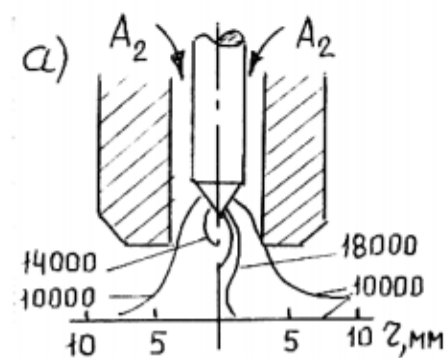
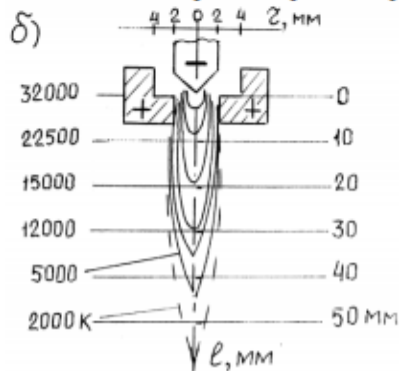
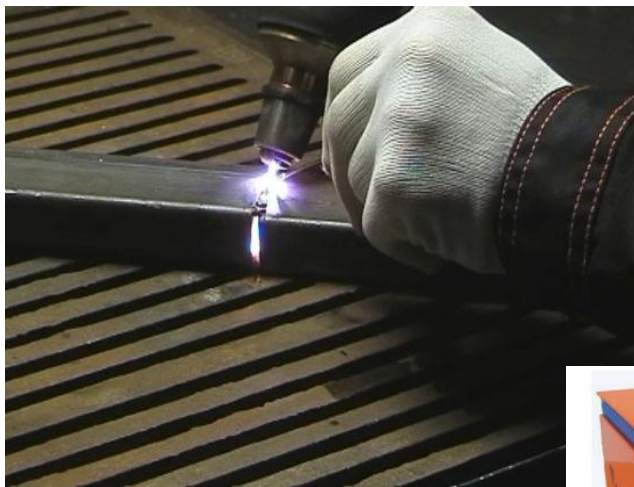


Рисунок 2 - Распределение температуры плазменной дуги (а) и

У навчальному процесі зручно використовувати зварювальні установки невеликої потужності, тому що в цьому випадку не потрібно місцева вентиляція, менш небезпечно світлове випромінювання, менше витрата електроенергії, аргону та кольорових металів. Однак характерні риси плазмового процесу розкриваються при цьому цілком. Тому в даній роботі описується методика технологічних іспитів установки для микроплазмового зварювання. У табл. 6.1 приведені орієнтовані режими микроплазмового зварювання, яким можна скористатися при виборі режиму зварювання.



плазменная сварка (источник нагрева металла - сжатая электрическая дуга, через которую со сверхзвуковой скоростью продувается газ, приобретающий свойства плазмы);
плазменная - только в защитных газах.

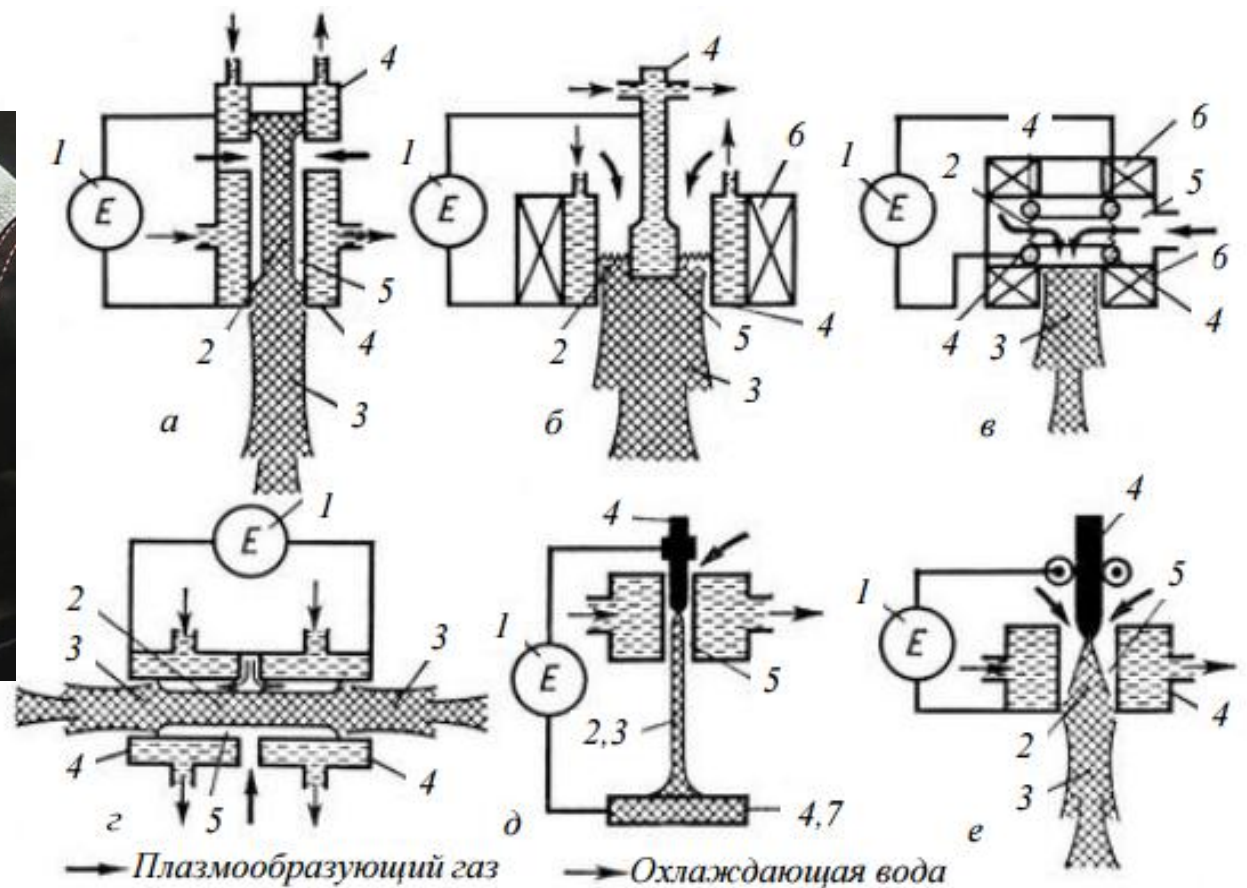


Рис. 1. Схема дуговых плазмотронов: а – осевой; б – коакси- альный; в – с тороидальными электродами; г – двустороннего истечения; д – с внешней плазменной дугой; е – с расходуе- мыми электродами (эрозионный); 1 – источник электропита- ния; 2 – разряд; 3 – плазменная струя; 4 – электрод; 5 – разряд- ная камера; 6 – соленоид; 7 7– обрабатываемое тело Стабилизация разряда в дуговых плазмотронах осуществляется магнитным полем, потоками газа и стенками разрядной камеры и со- пла. Один из распространенных способов магнитной стабилизации плазменноструйных плазмотронов с анодом в форме кольца или тора

Охлаждающая вода в коаксиальном катоду, состоит в создании (с помощью соленоида) перпендикулярной плоскости анода сильного магнитного поля, которое вынуждает токовый канал дуги непрерывно вращаться, обегая анод. Поэтому перемещаются по кругу анодные и катодные пятна дуги, что предотвращает расплавление электродов (или их интенсивную эрозию, если они выполнены из тугоплавких материалов). К числу способов газовой стабилизации, теплоизоляции и сжатия дуги относится так называемая «закрутка» – газ подается в разрядную камеру по спиральным каналам, в результате чего образуется газовый вихрь, обдувающий столб дуги и генерируемую плазменную струю: слой более холодного газа под действием центробежных сил располагается у стенок камеры, предохраняя их от контакта с дугой. В случаях, когда не требуется сильного сжатия потока плазмы (например, в некоторых плазматронах с плазменной дугой, используемых для плавки металла), стабилизирующий газовый поток не закручивают, направляя параллельно столбу дуги, и не обжимают соплом (катод располагают на самом срезе сопла). Очень часто стабилизирующий газ одновременно является и плазмообразующим веществом. Применяют также стабилизацию и сжатие дуги потоком воды (с «закруткой» или без нее). Плазма дуговых плазматронов неизбежно содержит частицы вещества электродов вследствие их эрозии. Когда этот процесс по технологическим соображениям полезен, его интенсифицируют (плазматроны с расходными электродами). В других случаях, напротив, минимизируют, изготавливая электроды из тугоплавких материалов (вольфрам, молибден, специальные сплавы) или охлаждая их водой, что, кроме того, увеличивает срок службы электродов. Более «чистую» плазму дают ВЧ-плазматроны.

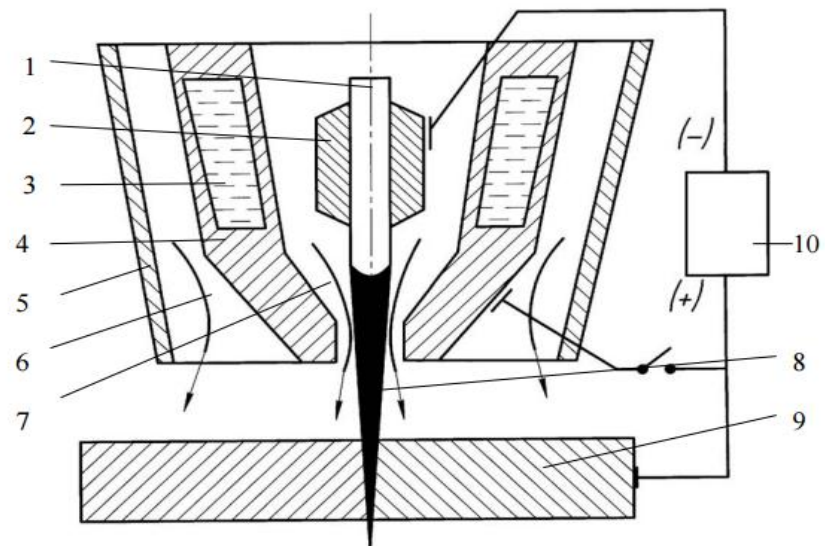


Рис. 1. Схема плазматрона – сварочной горелки для плазменной сварки и наплавки

1 – неплавящийся электрод, 2 – зажимная цапга, 3 – каналы для воды, 4 – внутреннее плазмообразующее сопло, 5 – внешнее газозащитное сопло, 6 – защитный газ, 7 – плазмообразующий газ, 8 – плазменная дуга, 9 – изделие, 10 – источник



Плазмотроны с плазменной струей обычно используют при термической обработке металлов, для нанесения покрытий, получения порошков с частицами сферической формы, в плазмохимической технологии и пр. Плазмотроны с внешней дугой служат для обработки электропроводных материалов, плазмотроны с расходными электродами применяют при работе на агрессивных плазмообразующих средах (воздухе, воде и др.) и при необходимости генерации металлической, углеродной и т.д. плазмы из материала электродов (например, при карботермическом восстановлении руд). Мощность дуговых плазмотронов 102...107 Вт; температура струи на срезе сопла 3 000...25 000 К; скорость истечения струи 1...10 4 м/с; промышленное КПД 50...90 %; ресурс работы (определяется эрозией электродов) достигает несколько сотен ч, в качестве плазмообразующих веществ используют воздух, N₂, Ar, H₂, NH₄, O₂, H₂O, жидкие и твердые углеводороды, металлы, пластмассы.

Высокочастотный плазмотрон включает: электромагнитную катушку-индуктор или электроды, подключенные к источнику высокочастотной энергии, разрядную камеру, узел ввода плазмообразующего вещества. Различают индукционные, емкостные, факельные, плазмотроны на коронном разряде и с высокочастотной короной, а также сверхвысокочастотные (СВЧ) плазмотроны (рис. 2). Рис. 2. Схемы высокочастотных плазмотронов: а – индукционный; б – емкостный; в – факельный; г – сверхвысокочастотный; 1 – источник электропитания; 2 – разряд; 3 – плазменная струя; 4 – индуктор; 5 – разрядная камера; 6 – электрод; 7 – волновод

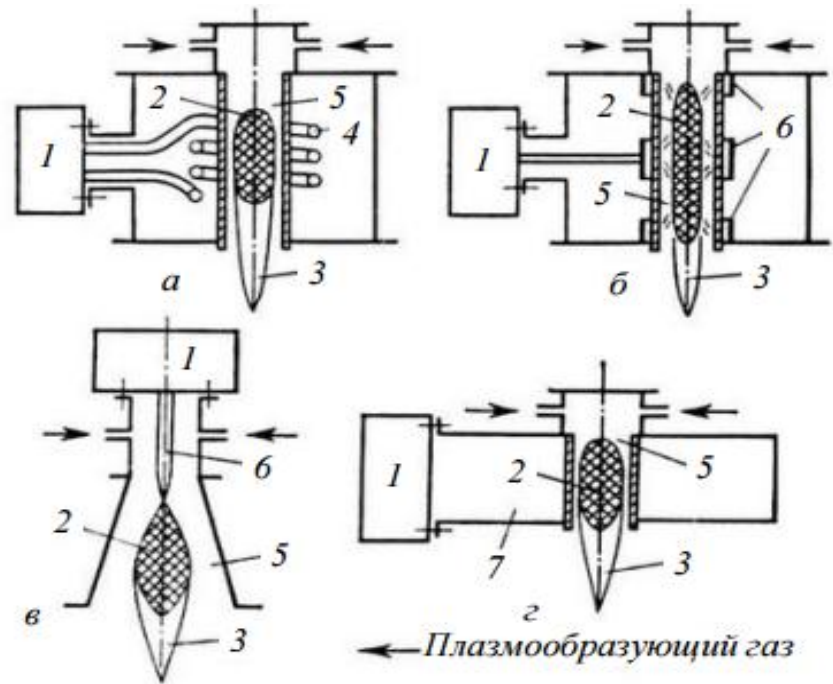


Рис. 2. Схемы высокочастотных плазмотронов: а – индукционный; б – емкостный; в – факельный; г – сверхвысокочастотный; 1 – источник электропитания; 2 – разряд; 3 – плазменная струя; 4 – индуктор; 5 – разрядная камера; 6 – электрод; 7 – волновод

Наибольшее распространение в технике получили индукционные ВЧ-плазмотроны, в которых плазмообразующий газ нагревается вихревыми токами. Так как индукционный высокочастотный разряд является безэлектродным, эти плазмотроны используют для нагрева активных газов (O₂, Cl₂, воздуха и др.), паров агрессивных веществ (хлоридов, фторидов и др.), а также инертных газов, если к плазменной струе предъявляются высокие требования по чистоте. С помощью индукционных плазмотронов получают тонкодисперсные и особо чистые порошковые материалы на основе нитридов, боридов, карбидов



a)



б)

Рис. 3. Примеры использования аппарата «Мультиплаз-2 500»:
a – резка различных металлов; *б* – сварка различных сталей

Источником теплоты является [плазменная](#) струя т.е. сжатая дуга, получаемая с помощью [плазмотрона](#). Плазмотрон может быть прямого действия (дуга горит между электродом и основным металлом) и косвенного действия (дуга горит между электродом и соплом плазмотрона). Струя плазмы сжимается и ускоряется под действием электромагнитных сил, оказывая на свариваемое изделие как тепловое, так и газодинамическое воздействие. Помимо собственно сварки, этот способ часто используется для технологических операций [наплавки](#), [напыления](#) и [резки](#). Процесс плазменной резки основан на использовании воздушно-плазменной дуги постоянного тока прямой полярности (электрод-катод, разрезаемый металл-анод). Сущность процесса заключается в местном плавлении и выдувании расплавленного металла с образованием полости реза при перемещении резака относительно разрезаемого металла.

Плазменная сварка благодаря высокой концентрации энергии в точке нагрева и глубокому проплавлению считается перспективным способом соединения алюминия и его сплавов.

Основные преимущества плазменной сварки алюминия:

- высокая скорость;

- стабильность и простота контроля процесса по сравнению с ручной дуговой сваркой;

- гораздо меньшая зона термического влияния.

В результате глубокого проплавления резко возрастает доля основного металла, участвующего в формировании сварного шва, но при этом требуется соблюдать точность при сборке деталей под сварку и ведении горелки по стыку. Для сплавов из алюминия необходимо питание плазменной дуги переменным током.

Плазменная сварка - это сварка с помощью направленного потока плазменной дуги. Имеет много общего с технологией аргонной сварки.

Общепринятые обозначения

PAW - PlasmaArcWelding - сварка плазменной дугой

Технология плазменной сварки

Плазмой называется частично или полностью ионизированный газ, состоящий из нейтральных атомов и молекул, а также электрически заряженных ионов и электронов. В таком определении обычная дуга может быть названа плазмой. Однако по отношению к обычной дуге термин «плазма» практически не применяют, так как обычная дуга имеет относительно невысокую температуру и обладает невысоким запасом энергии по сравнению с традиционным понятием плазмы.

Рисунок. Схема процесса плазменной сварки

Для повышения температуры и мощности обычной дуги и превращения ее в плазменную используются два процесса: сжатие дуги и принудительное вдувание в нее плазмообразующего газа. Схема получения плазменной дуги приведена на рисунке выше. Сжатие дуги осуществляется за счет размещения ее в специальном устройстве - плазмотроне, стенки которого интенсивно охлаждаются водой. В результате сжатия уменьшается поперечное сечение дуги и возрастает ее мощность - количество энергии, приходящееся на единицу площади. Температура в столбе обычной дуги, горящей в среде аргона, и паров железа составляет 5000-7000°C. Температура в плазменной дуге достигает 30 000°C.

Одновременно со сжатием в зону плазменной дуги вдувается плазмообразующий газ, который нагревается дугой, ионизируется и в результате теплового расширения увеличивается в объеме в 50-100 раз. Это заставляет газ истекать из канала сопла плазмотрона с высокой скоростью. Кинетическая энергия движущихся ионизированных частиц плазмообразующего газа дополняет тепловую энергию, выделяющуюся в дуге в результате происходящих электрических процессов. Поэтому плазменная дуга является более мощным источником энергии, чем обычная. Основными чертами, отличающими плазменную дугу от обычной, являются:

- более высокая температура;

- меньший диаметр дуги;

- цилиндрическая форма дуги (в отличие от обычной конической);

- давление дуги на металл в 6-10 раз выше, чем у обычной;

- возможность поддерживать дугу на малых токах (0,2-30 А).

Перечисленные отличительные черты делают плазменную дугу по сравнению с обычной более универсальным источником нагрева металла. Она обеспечивает более глубокое проплавление металла при одновременном уменьшении объема его расплавления. На рисунке приведена форма проплавления для обычной дуги и плазменной. Из рисунка видно, что плазменная дуга - более концентрированный источник нагрева и позволяет без разделки кромок сваривать большие толщины металла. Из-за своей цилиндрической формы и возможности существенно увеличить длину такая дуга позволяет вести сварку в труднодоступных местах, а также при колебаниях расстояния от сопла горелки до изделия.

Рисунок. Форма проплавления для обычной и плазменной дуги

Возможны две схемы процесса:

сварка плазменной дугой, когда дуга горит между неплавящимся электродом и изделием,

и плазменной струей, когда дуга горит между неплавящимся электродом и соплом плазмотрона и выдувается потоком газа.

Первая схема наиболее распространена.

В качестве плазмообразующего газа при сварке используется обычно аргон, иногда с добавками гелия или водорода. В качестве защитного газа используется чаще всего также аргон. Материал электрода - вольфрам, активированный иттрием, лантаном или торием, а также гафний и медь.

Разновидности

В зависимости от силы тока различают три разновидности плазменной сварки:

микроплазменная ($I_{CB} = 0,1-25A$);

на средних токах ($I_{CB} = 50-150A$);

на больших токах ($I_{CB} > 150A$).

Микроплазменная сварка

Наиболее распространенной является микроплазменная сварка. В связи с достаточно высокой степенью ионизации газа в плазмотроне и при использовании вольфрамовых электродов диаметром 1-2 мм плазменная дуга может гореть при очень малых токах, начиная с 0,1 А.

Рисунок. Схема процесса микроплазменной сварки

Специальный малоамперный источник питания (см. рисунок выше) постоянного тока предназначен для получения дежурной дуги, непрерывно горящей между электродом и медным водоохлаждаемым соплом. При подведении плазмотрона к изделию зажигается основная дуга, которая питается от источника. Плазмообразующий газ подается через сопло плазмотрона, имеющее диаметр 0,5-1,5 мм.

Защитный газ подается через керамическое сопло. Плазменная горелка охлаждается водой. Для зажигания дуги в сварочной установке имеются осцилляторы дежурной и основной дуги.

Микроплазменная сварка является весьма эффективным способом сплавления изделий малой толщины, до 1,5 мм. Диаметр плазменной дуги составляет около 2 мм, что позволяет сконцентрировать тепло на ограниченном участке изделия и нагревать зону сварки, не повреждая соседние участки. Такая дуга имеет цилиндрическую форму, поэтому глубина проплавления и другие параметры шва мало зависят от длины дуги, что позволяет при манипуляциях сварщиком горелкой избежать прожогов, характерных для обычной аргонодуговой сварки тонкого металла.

Основным газом, используемым в качестве плазмообразующего и защитного, является аргон. Однако в зависимости от свариваемого металла к нему могут осуществляться добавки, увеличивающие эффективность процесса сварки. При сварке сталей к защитному аргону целесообразна добавка (8-10%) водорода, что позволяет повысить тепловую эффективность плазменной дуги. Это связано с диссоциацией водорода на периферии столба дуги и последующей его рекомбинацией с выделением тепла на поверхности свариваемого металла.

При сварке сталей к защитному аргону целесообразна добавка (8-10%) водорода, что позволяет повысить тепловую эффективность плазменной дуги. Это связано с диссоциацией водорода на периферии столба дуги и последующей его рекомбинацией с выделением тепла на поверхности свариваемого металла. При сварке низкоуглеродистых сталей к аргону возможна добавка углекислого газа, при сварке титана - добавка гелия.

Установки для микроплазменной сварки позволяют осуществлять сварку в различных режимах: непрерывный прямой полярности, импульсный прямой полярности (позволяет регулировать тепловложение), разнополярными импульсами (для алюминия, обеспечивает разрушение оксидной пленки), непрерывный обратной полярности. Наиболее распространенной установкой является МПУ-4у.

К основным параметрам процесса микроплазменной сварки относятся сила тока, напряжение, расход плазмообразующего и защитного газа, диаметр канала сопла, глубина погружения в сопло электрода, диаметр электрода.

Микроплазменная сварка успешно применяется при производстве тонкостенных труб и емкостей, приварке мембран и сильфонов к массивным деталям, соединении фольги, термопар, при изготовлении ювелирных изделий

Плазменная сварка на средних токах

Плазменная сварка на токах $I_{\text{св}} = 50-150\text{А}$ имеет много общего с аргонодуговой сваркой вольфрамовым электродом. Однако из-за более высокой мощности дуги и ограниченной площади нагрева она является более эффективной. По энергетическим характеристикам плазменная дуга занимает промежуточное положение между обычной дугой и электронным или лазерным лучом. Она обеспечивает более глубокое проплавление, чем обычная дуга, при меньшей ширине шва. Кроме энергетических характеристик, это связано и с более высоким давлением дуги на сварочную ванну, вследствие чего уменьшается толщина прослойки жидкого металла под дугой и улучшаются условия теплопередачи в глубь основного металла. Сварка может осуществляться с применением присадочной проволоки или без нее.

Плазменная сварка на больших токах

Плазменная сварка на токах более $I = 150\text{А}$ оказывает еще большее силовое воздействие на металл (плазменная дуга на токах 150А эквивалентна 300А дуге при сварке неплавящимся электродом).

Сварка сопровождается полным проплавлением с образованием в ванне сквозного отверстия. Происходит как бы разрезание деталей с последующей заваркой.

Рисунок. Формирование шва со сквозным проплавлением при плазменной сварке на больших токах

Металл с обратной стороны шва удерживается силами поверхностного натяжения. Диапазон режимов весьма ограничен, поскольку при сварке возможны прожоги. Плазменная сварка на больших токах используется при сплавлении низкоуглеродистых и легированных сталей, меди, алюминиевых сплавов, титана и других материалов. Во многих случаях она позволяет значительно уменьшить затраты, связанные с разделкой кромок, повысить производительность, улучшить качество швов.

Плазменная сварка требует высокой культуры производства, соблюдения технологии заготовки и сборки, тщательного обеспечения условий охлаждения плазмотронов и правил их эксплуатации. Даже небольшие нарушения режима охлаждения плазмотрона вследствие высоких температур и малого диаметра сопла приводят к его разру

Впервые мысль о необходимости выполнения работ по сварке и резке в космосе высказал С.П.Королев в 1965 г. Основные отличия космических условий от земных - прежде всего глубокий вакуум при практически неограниченной скорости диффузии газов из зоны сварки, широкий интервал температур, при которых может находиться свариваемое изделие, невесомость. Кроме того, на качество сварки влияет ряд второстепенных факторов - ограниченная подвижность космонавта-оператора в скафандре, повышенные требования безопасности работ и др. Первые эксперименты по сварке в космосе проведены 16 октября 1969 г. на корабле «Союз-6» Г.С. Шониным и В.Н. Кубасовым с использованием установки «Вулкан». Установка позволяла в автоматическом режиме выполнять дуговую, плазменную и электронно-лучевую сварку.

Величина сварочного тока зависит от толщины и марки свариваемого металла, типа соединения и расположения шва в пространстве. Ток рассчитывается по уравнению

$$I_{CB} = \frac{\delta - 0,27Q_{II} + 0,1S - a}{0,025} A,$$

где Q_{II} – расход плазмообразующего газа 2 - 8 л/мин, S – площадь дополнительных отверстий плазмотрона 6 – 12 мм². a - свободный член, для сталей равен 1,4; для алюминия – 0,4; для меди – 0,6; для никеля 1,0; для титана - 1,2., δ – толщина свариваемого металла, мм.

Диаметр неплавящегося электрода зависит от величины сварочного тока и рассчитывается по выражению

$$d_{\text{Э}} = \sqrt[3]{\left(\frac{I_{CB}}{67}\right)^2} \text{ мм},$$

Напряжение на дуге определяется видом плазмообразующего и защитного газов, а также расстоянием от электрода до изделия. В условиях выбранных режимов напряжение оказывает влияние на устойчивость горения дуги

$$U_D = 15,5 + 0,017I_{CB} + 0,24Q_{II} - d_{\text{Э}} - 0,012\alpha \text{ В},$$

где α - угол заточки электрода 30-90°.

Скорость сварки в сочетании с выбранным режимом сварки обеспечивает определенные размеры сварного шва и его удовлетворительное формирование.

При автоматической плазменной сварке для нержавеющей сталей, никелевых и титановых сплавов

$$V_{CB} = -5\delta + 60 \text{ м/ч,}$$

для меди и алюминия

$$V_{CB} = -3\delta + 38 \text{ м/ч.}$$

Расход газов (аргона) плазмообразующего (Q_{Π}) составляет 2–8 л/мин, защитного (Q_3) для стали 5–8 л/мин, цветных металлов – 20–24 л/мин.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с сущностью плазменных процессов с сварочном производстве, их технологическими особенностями.
2. Рассчитать режимы плазменной сварки заданного металла. Результаты расчетов занести в таблицу.
3. Оформить отчет по прилагаемой форме.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Як формується стиснута дуга?
2. Призначення чергової дуги.
3. Технологічні можливості зварювання в імпульсному режимі.
4. Які матеріали і типи з'єднань можна зварювати плазмовим зварюванням?
5. Параметри, що характеризують плазмове зварювання. У чому їх відмінність від дугового зварювання?
6. У яких випадках рекомендується застосовувати імпульсний режим роботи установки?
7. Види плазмотронів

Порядок виконання роботи

Вивчити призначення та устаткування основних електричних елементів та вузлів установки МПУ – 4.

Ознайомитися з роботою установки за електричною схемою.

Випробувати роботу установки в різних режимах (А, В, С, D).

Відрегулювати апарат на обраний режим зварювання рекомендується в наступному порядку:

- 1). Установити в пальнику необхідний діаметр вольфрамового електрода та молібденового сопла, перевірити концентричність положення електродів щодо сопла, глибину посадки.
 - 2). Підвести до установки захисний газ необхідного складу. За допомогою газового редуктора, змішувача та ротаметрів відрегулювати витрату захисного та плазмообразуючого газів.
 - 3). Подати на установку воду для охолодження пальника і струмоведучих кабелів.
 - 4). Установити всі органи керування на пульті в положення «Вимкн.», після чого подати на установку напруга мережі.
 - 5). Установити необхідні параметри зварювання та включити установку в строгій відповідності з інструкцією з експлуатації.
- Відкоригувати при необхідності силу зварювального струму, контролюючи по амперметрі.
- 6). По табл. 6.1. чи інших довідкових матеріалах вибрати зварювальні матеріали та режим зварювання, та внести ці дані в табл. 6.2.
 - 7). Настроїти апарат на обраний режим та виконати зварювання. У випадку непроварів збільшити силу зварювального струму чи зменшити швидкість зварювання. При прожогах зменшити силу зварювального струму, підвищити швидкість зварювання, перейти з безупинного режиму роботи апарата на імпульсний. Фактично встановлені параметри режиму зварювання також вписати в табл. 6.2.

8. Повторити дослідження на інших матеріалах та товщинах зразків. Результати також внести в табл. 2.

6.6. Обробка результатів роботи

Всі отримані результати звести в табл.2.

Оцінити технологічні можливості установки МПУ – 4, можливість зварювання при різних положеннях шва, регулюємість параметрів режиму зварювання.

6.7. Висновки

Зробити висновки про регулюємість параметрів зварювання, стабільності процесу та якості зварених з'єднань.

6.8. Зміст звіту

Ціль роботи: короткий опис призначення та регулювальних можливостей установки МПУ – 4; опис порядку технологічних іспитів установки для плазменого зварювання.

Результати технологічних досліджень плазменної установки

Марка зварювального апарата	Зварні з'єднання				Зварювальні матеріали і захист				
	Матеріал	Тип	Товщина, мм	зазор, мм	склад	Витрата, л/хв.	дiameter сопла, мм	Витрата газу що образує плазму, Ar, л/мин	Діаметр вольфрамового електрода, мм

Завдання для самостійної роботи

Прочитайте та визначте, які існують види плазмового зварювання в залежності від струму?

Література

1. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.П. Технология и оборудование сварки плавлением. Учебник для студентов вузов. М., «Машиностроение», 1977. – 432 с, с. 32 – 44, 78, 106;
2. Ерохин А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. М., Машиностроение, 1973. – 448 с; с. 108 – 112, 172 – 207.



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Костина Людмила Леонидовна

E-mail: kost19533591@mail.ru

г. Харків, ул. Петровського, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Tel.(8-057)707-37-92