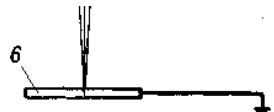
Плазмове, електронно-променеве та лазерне зварювання

Товщина металу, мм	Ширина розрізу, мм	Діаметр сопла, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Витрата робочого газу, л/хв		Швидкість різання, м/год
					азот	стиснене повітря	
Низьковуглецева сталь							
1–3	1–1,5	0,8	30	130	–	10	180–300
3–5	1,6–1,8	1	50	110	–	12	120–180
5–7	1,8–2	1	75	110	–	15	90–120
7–10	2–2,5	1	100	110	–	15	60–90
Корозієстійка сталь							
0,7	1,5	1	20	120	3,5	–	55
2	0,9	1	20	120	2,5	–	55
3	0,9	1	20	120	2,5	–	42



		1,5	O_2	170	5	O_2	200
		3,5	O_2	30	5	O_2	200
		0,4	N_2	270	32	Ar	18
скло	10	0,7	N_2	50	32	Ar	18
Дерево	18	0,7	N_2	12	5	Ar	220
	18	0,7	N_2	12	14	Ar	90
Кераміка	–	–	–	–	6,5	Ar	40

1. Галузь застосування плазмового зварювання

Плазмове зварювання використовують для стикових з'єднань товщиною до 10-15 мм без розчищання кромок. При більшій товщині необхідний V- або U-подібний скос кромок із кутом розкриття 30° і притупленням 7-10 мм.

Плазмовою дугою можна зварювати з'єднання товщиною 0,1 мм і менше. В цьому випадку вже при струмі 1 А утворюється плазмова дуга голчастої форми. Плазмотрони для зварювання тонких матеріалів розраховані на струм до 7 А.

Дугову плазму використовують для зварювання, різання та наплавлення металів. Зварювання може бути ручне, напівавтоматичне й автоматичне.

2. Технологія і техніка плазмового зварювання

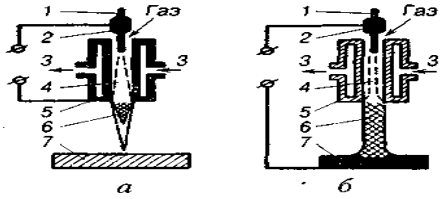


Рис 12.1. Плазмове зварювання:
а — зварювання плазмою, виділеною із стовпа дуги; *б* — плазма, що співпадає із стовпом дуги; *1* — вольфрамовий електрод; *2* — струмопідвідний мундштук; *3* — охолодна вода; *4* — стовп дуги; *5* — мідне сопло; *6* — плазмовий струмінь (дуга), *7* — основний метал

Особливістю плазмового зварювання є висока температура стовпа дуги (10 000-30 000°С) внаслідок стискання його струменем газу (аргоном, гелієм, воднем та їх сумішами). В результаті стискання і великої густини струму матерія переходить у четвертий агрегатний стан (крім рідкого, твердого й газоподібного), який називають плазмою. Плазма — це оголені ядра та відірвані від них електрони. Розрізняють дугову плазму таких видів: плазма, виділена із стовпа дуги (рис. 10.1*а),* і плазма, що співпадає із стовпом дуги (рис. 10.1 *б).* Відповідно існує два види зварювальних паль-ників-плазмотронів. У

плазмотронах із плазмою, виділеною із стовпа дуги, дуга горить між неплавким вольфрамовим електродом, який є катодом, і охолоджуваним водою соплом. У цьому випадку плазмова дуга є незалежною від виробу, тому що вибір не під'єднано до зварювального кола. У плазмотронах із плазмою, що співпадає із стовпом дуги, дуга горить між вольфрамовим електродом (катод) і виробом, який під'єднано до позитивного полюса джерела струму.

Рисунок 10.1. Плазмове зварювання:

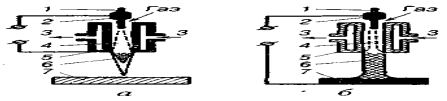


Рис 12.1. Плазмове зварювання:
а — зварювання плазмою, виділеною із стовпа дуги; б — плазма, що співпадає із стовпом дуги; 1 — вольфрамовий електрод; 2 — струмопідвідний мундштук; 3 — охолодна вода; 4 — стовп дуги; 5 — мідне сопло; 6 — плазмовий струмінь (дуга); 7 — основний метал

Робочим інструментом для плазмового зварювання є пальник (плазмотрон) із змінним охолоджуваним водою вольфрамовим електродом і плазмо-утворюючою насадкою. Тиск дуги і теплова енергія, що вводяться у виріб, залежать від діаметра насадки, кута загострення електрода і встановлення електрода відносно плазмо-утворюючої насадки. Діаметр насадки залежить від сили зварювального струму (табл. 10.1), напруги на дузі, витрат і складу плазмоутворюючого і захисного газів.

Таблиця 10.1 **Залежність діаметра насадки від сили зварювального струму**

Сила струму, А	100	140	170	220	250	300
Діаметр насадки при ручному зварюванні, мм	2	2,5	2,8	3	3,2	3,5

Діаметр вольфрамового електрода залежить від величини зварювального струму (табл.12.2)

Таблиця 12.2

Залежність діаметра вольфрамового електрода від сили зварювального струму

Сила струму, А	120	200	250	300
Діаметр електрода, мм	3	4	5	6

Діаметр вольфрамового електрода залежить від величини зварювального струму (табл. 10.2).

Таблиця 10.2.

Сила струму, А	100	140	170	220	250	300
Діаметр насадки при ручному зварюванні, мм	2	2,5	2,8	3	3,2	3,5

Діаметр вольфрамового електрода залежить від величини зварювального струму (табл.12.2)

Таблиця 12.2

Залежність діаметра вольфрамового електрода від сили зварювального струму

Сила струму, А	120	200	250	300
Діаметр електрода, мм	3	4	5	6

Електрод перед зварюванням загострюють на конус під кутом 28-30°. Довжина конуса має становити 5-6 діаметрів електрода. Конус притуплюють заокругленням діаметром 0,2-0,5 мм. Електрод установлюють так, щоб його вісь співпадала з віссю плазмоутворюючої насадки. Для зварювання використовують плазмоутворюючі гази: аргон і його суміші з воднем і гелієм та захисні гази: суміш аргону з 5-8% водню при зварюванні легованих сталей, міді, нікелю; вуглекислий газ — при зварюванні низьковуглецевих і низьколегованих сталей.

Кромки деталей перед зварюванням зачищають щітками від бруду, масла на ширину ЗО мм і знежирюють розчином. Стики складають без зазорів. Максимальний зазор не повинен перевищувати 1,5 мм. Прихватки виконують покритими електродами, аргоно-дуговим або ручним плазмовим зварюванням. Підсилення прихваток видаляють механічним способом. Плазмове зварювання виконують на постійному струмі прямої полярності. Перед запалюванням дуги в зону зварювання протягом 5-20 с подають захисний газ. Відстань від плазмотрона до виробу не повинна перевищувати 10 мм. У випадку обриву дуги кратер шва і прилеглу зону (не менше 15 мм) обдувають захисним газом. Дугу збуджують на відстані 10-15 мм від кратера на раніше завареній ділянці шва. В процесі зварювання не допускається перегрівання металу. При нагріванні металу вище 1000°С на відстані 20-25 мм від шва, необхідно зробити перерву або охолодити стик стисненим повітрям, не припиняючи зварювання. Після обриву дуги подачу газу продовжують протягом 10-15 с.

За технікою плазмове зварювання поділяється на зварювання плавленням і зварювання з наскрізним проплавлюванням.

Для створення шва необхідної форми плазмове зварювання виконують із присаджувальним металом діаметром не менше 1,5 мм.

В процесі зварювання пальнику і дроту надають коливальних рухів з амплітудою 2-4 мм. При цьому кінець присадки завжди повинен знаходитись у зоні захисного газу. Не можна різко подавати кінець присадки у зварну ванну. Кратер заварюють уведенням краплі розплавленого металу з одночасним відведенням плазмотрона до природного обриву дуги або її вимикання системою керування.

3. Плазмове різання, галузь застосування

Плазмова дуга може бути подібною зварювальній дузі прямої і непрямої дії. У першому випадку одним з електродів є оброблюваний метал (рис. 10.2 б), в іншому — дуга збуджується між незалежними від металу електродами (рис. 10.2 *а)*. Дугу прямої дії називають плазмовою, непрямої — плазмовим струменем. Для роздільного різання металів доцільно використовувати плазмову дугу, яка має вищий к.к.д., а плазмовий різак менше піддається спрацюванню.

Плазмово-дугове різання застосовують при обробці металів, які не піддаються кисневому різанню: високолеговані сталі, алюміній, титан, мідь і їх сплави. Плазмовим струменем ріжуть тонкі метали.

Плазмово-дугове різання полягає в проплавленні металу на вузькій ділянці по лінії різа і видаленні розплавленого металу струменем плазми, утвореним у дузі. Дуга збуджується між металом і вольфрамовим електродом, розташованим у головці різака. При різанні плазмовим струменем метал не вмикається в електричне коло дуги, яка горить між кінцем вольфрамового електрода і внутрішньою стінкою охолоджуваного водою наконечника різака. Живлення дуги виконують від джерела постійного струму, «мінус» підводиться до вольфрамового електрода, а «плюс» до мідної насадки, охолоджуваної водою. У якості плазмоутворюючих газів і для захисту вольфрамового електрода застосовують аргон, азот, суміші аргону з азотом, воднем і повітрям, стиснене повітря.

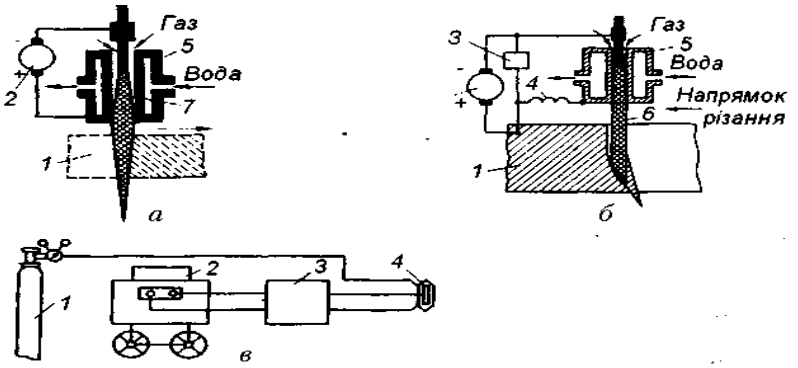


Рис. 21.3. Схема плазмового різання:

а — плазмовим струменем; *б* — плазмовою дугою; *1* — розрізуваний метал; *2* — джерело живлення; *3* — осцилятор; *4* — реостат, який регулює допоміжну дугу; *5* — плазмотрон; *6* — плазмова дуга; *7* — плазмовий струмінь; *в* — плазмова установка: *1* — балон з газом; *2* — джерело живлення; *3* — баластний реостат; *4* — плазмотрон

Рисунок 10.2. Схема плазмового різання

До комплекту обладнання для плазмово-дугового різання входять: різак (плазмотрон), пульт керування, джерело живлення дуги, балони з плазмоутворюючими газами, механізм для переміщення плазмотрона вздовж лінії різання (рис. 10.2 *в).*

Різак складається з електродного та соплового вузлів. Плазмотрони бувають з осьовою і вихровою подачею газів для стискання дуги. Осьова подача плазмоутворюючого газу використовується в широких соплах. При вихровій подачі газ вводять у зону катода і стовпа дуги по каналах, розташованих по дотичній до стінок дугової камери плазмотрона. При цьому в камері створюється вихровий потік газу із спіральним рухом. Вихрова подача газу забезпечує його перемішування в стовпі дуги й рівномірність газової оболонки навколо стовпа.

При осьовій подачі газу кінець вольфрамового електрода діаметром від 2 до 6 мм і довжиною до 100-150 мм загострюють під кутом 20-30°, а при вихровій подачі газу — на кінці електрода є змінні газові катоди.

Для охолодження плазмотронів використовують воду, а в плазмотронах невеликої потужності — стиснене повітря. Використовують також ріжучі плазмотрони з плівковими катодами. Здатність утворювати плівку на катоді мають цирконій і гафній. Такий катод може тривалий час працювати в окислювальному середовищі, наприклад, у стисненому повітрі.

Інтенсивність спрацювання катодних вставок та електродів залежить від сили робочого струму. Тривалість роботи катода не перевищує 4-6 год. Велике значення має конструкція сопла. Чим менший діаметр сопла і більша його довжина, тим вища концентрація енергії. Але діаметр і довжина сопла зумовлені силою робочого струму і витратами газів. Якщо діаметр сопла дуже малий або довжина його дуже велика, то можливе виникнення подвійної дуги, при якій ріжуча дуга розпадається на дві частини. Одна дуга горить між катодом і внутрішньою поверхнею сопла, а друга— між зовнішньою поверхнею сопла і розрізуваним металом. Подвійна дуга може горіти одночасно з ріжучою (не тривалий час) і поза зоною захисного газу від чого метал кромок забруднюється і підплавлюється. Щоб уникнути подвійної дуги необхідно плавно збільшити робочий струм. Це досягається магнітними, тиристорними та іншими пристроями.

Для плазмово-дугового різання використовують джерела живлення дуги постійного струму з крутоспадаючими вольт-амперними характеристиками. Для різання металів великої товщини (понад 80 мм) використовують тільки спеціальні джерела живлення з підвищеною напругою холостого ходу. Апаратура для плазмово-дугового різання повинна відповідати ГОСТу 12221-71: Плр — для ручного різання; Плрм — для ручного і машинного різання; Плм — для машинного різання; Плмт — для машинного точкового різання. Технічні дані апаратів для плазмово-дугового різання наведено в табл. 10.3.

Таблиця 10.3. **Технічні дані апаратів плазмово-дугового різання**

Початок різання визначається моментом збудження ріжучої дуги. Відстань від торця наконечника до поверхні розрізуваного металу повинна бути в межах 3-10 мм. При різанні вуглецевих сталей товщиною до 40-50 мм використовують стиснене повітря, для нержавіючих сталей товщиною до 20 мм — чистий азот, більше 20 мм і до 50 мм — суміш із 50% азоту і 50% водню. Різання алюмінію товщиною 5-20 мм виконують в азоті, а товщиною 20-150 мм — у суміші з 65% азоту і 35% водню або 68% азоту і 32% водню. При збільшенні кількості водню

поверхня різа насичується ним. Для ручного різання вміст водню зменшують до 20%, що забезпечує стійкість горіння дуги при зміні її довжини. При зварюванні міді використовують аргоно-водневу суміш, азот або повітря, а потужність дуги збільшують через високу теплопровідність міді. Швидкість різання латуні збільшують на 20-25% порівняно з різанням міді. При цьому використовують ті ж гази, що й для різання міді. Режими плазмового різання металів вказані в табл. 21.13 і 21.14.

Товщина металу, мм	Сила струму, А	Напруга, В	Швидкість різання, м/год
4	270–290	140–145	425–450
6	270–290	140–145	180–210
8	270–290	140–145	100–180
10	270–290	140–145	130–150
12	270–290	140–145	110–130
14	270–290	150–155	97–110
16	270–290	155–160	85–97
18	270–290	160–165	70–85
20	290–310	165–170	60–72
24	290–310	170–175	45–60
30	290–310	180–185	36–42

Таблиця 10.4. **Параметри режиму плазмового різання вуглецевих, легованих сталей і міді у середовищі повітря з водою**

Таблиця 10.5. **Режими механізованого мікроплазмового різання металів**

4. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного газу

Розроблені сучасні установки для плазмового різання, в яких замість азоту і повітря використовують водопровідну воду. Вода подається між ріжучим соплом для захисного газу і попадає в дугу у вигляді аерозольного туману, а потім під впливом електричного струму і високої температури розкладається на водень і кисень (рис. 10.3). Водень діє як відновний газ, який запобігає окисненню поверхні різа. Таким чином одержують чисту, без подальшої обробки поверхню кромок під заварювання.

Рисунок 10.3. Плазмове різання із застосуванням води замість захисного газу:

Налагодження такої плазмової установки просте, тому що швидкість різання і відстань від ріжучого сопла до виробу встановити легше, ніж в апаратах для різання в захисних газах. Новий спосіб рекомендують використовувати для різання високоякісної сталі та алюмінію товщиною від 3 до 30 мм. Перевагою є висока економічність і екологічна чистота. Основні параметри плазмового різання залежно від захисного середовища плазмової дуги наведено в табл. 10.6, режими лазерного різання матеріалів — в табл. 10.7.

Таблиця 10.6. **Параметри плазмового різання залежно від захисного середовища плазмової дуги**

Таблиця 10.7. **Режими лазерного різання матеріалів**

5. Електронно-променеве зварювання

Електронний промінь отримують у вакуумному пристрої — електронній гарматі (рис. 10.4). У вакуумі з розжареного катода виділяються електрони, що рухаються до анода — зварюваної деталі. Ці електрони прискорюються електричним полем, створюваним спеціальним пристроєм, і набирають значну швидкість й енергію. Для отримання електронного променя електрони фокусують магнітним полем, створюваним спеціальним пристроєм. Сфокусовані у щільний пучок електрони, вдаряючись у зварювані деталі, віддають їм свою енергію, яка плавить і зварює метал. Вакуум у середині камери необхідний для того, щоб енергія електронів не витрачалась на іонізацію газу в камері, та для одержання шва без газових включень. Глибокий вакуум (10^{-4} мм рт. ст.) створюється насосною системою зварювальної установки.

Електронний промінь можна подавати безперервно або імпульсами. Керування енергією променя виконують за допомогою переривника, який умикають у коло живлення керуючого електрода. Густину енергії променя регулюють зміною напруженості магнітного поля фокусуючої лінзи. Це дає можливість керувати температурою нагрівання матеріалу.

Теплова потужність електронного променя в тисячі разів більша за потужність звичайної зварюваної дуги. Це забезпечує високу швидкість зварювання, вузькі й глибокі шви, малу біляшовну зону, низькі деформації.

Електронно-променеве зварювання використовують в електронній та атомній промисловості, в літако- й ракетобудуванні. Виготовляють зварні шестерні, різальні інструменти, відповідальні будівельні конструкції (балки, колони), вузли парогенераторів і двигунів внутрішнього згорання. Цим способом зварюють тугоплавкі (тантал, ніобій, вольфрам, молібден) і легкоокиснювані (цирконій, берилій, титан, алюміній, магній) метали та їх сплави.

Рисунок 10.4. Електронно-променеве зварювання

6. Лазерне зварювання. Особливості та технологія лазерного зварювання

У 1964 р. вчені Н. Басов, А. Прохоров і Ч. Таунс створили оптичну квантову установку, за допомогою якої отримали енергію у вигляді вузьконаправленого лазерного променя (рис. 10.5).

Використовують лазери таких типів: твердий, газовий, рідкий і напівпровідниковий. Лазерна установка складається з джерела світла високої інтенсивності, вмонтованого всередині камери з рубіновим стрижнем, зокрема з розовим рубіном, який складається з оксиду алюмінію з добавкою хрому до 0,05%. На кінцях рубінового стрижня є паралельні дзеркала. Одне дзеркало має 100%-ну відбивальну здатність, друге — менше 100% із отвором для виходу променя.

Під час роботи біле світло високої інтенсивності поглинається рубіновим стрижнем, доки не досягне максимального насичення. Потім починається випромінювання з рубінового стрижня коротких імпульсів нової енергії у вигляді червоного світла через отвори в частково відбиваючому дзеркалі. Після кожного випромінювання енергія в стрижні зменшується і цикл повторяється.

Рисунок 10.5. Лазерне зварювання:

Кожний цикл вимірюється мікросекундами. Хвиля випромінюваного променя може співпадати з падаючою хвилею білого кольору і цим підсилити випромінювання. Таке підсилення за допомогою примусового випромінювання має

назву «лазер».

Для охолодження лазерної установки використовують рідкі гази — азот і гелій. Промінь лазера фокусується оптичною лінзою у пляму діаметром від 0,01 до 0,1 мм. Густина теплової енергії не зменшується, незалежно від того, що знаходиться на шляху променя — повітря, інертний газ, скло, вакуум чи інші прозорі речовини.

Перевагою лазерного зварювання є:

- низьке поглинання виробом теплової енергії, завдяки чому зменшується зона термічного впливу;
- висока густина енергії дозволяє з'єднувати різнорідні метали;
- шов формується за тисячні частки секунди, що позитивно впливає на хімічний склад зварюваних металів;
- можливість автоматизації процесу зварювання.

Широко використовується лазерне різання металів із піддуванням повітря, кисню або аргону. Лазером ріжуть низьковуглецеві сталі товщиною до 10 мм, леговані сталі до 6 мм, нікелеві сплави до 5 мм, тантал і ніобій товщиною до 3 мм, а також дерево, скло, кераміку, азбоцемент, гуму.