

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДВИЩЕНОЇ ЩІЛЬНОСТІ СТРУМУ НА ПРОЦЕС ЗВАРЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ

Власов А. Ф., Грицай Т. С.

В последние годы в связи с расширением использования смесей на основе аргона интерес к сварке на повышенных токах заметно растет. Одним из путей решения задачи повышения качества свариваемого металла при автоматической сварке в среде защитных газов является повышение плотности тока. Под влиянием электромагнитных и других сил разогретый и расплавленный торец электрода начинает вращаться. Сила сварочного тока, вылет и диаметр электрода оговаривают условия перехода от струйного переноса в струйно-вращательный. Процессы сварки на повышенных плотностях тока в режиме мелкокапельного или струйно-вращательного переноса требуют сварочные материалы высокого качества и надежных систем подачи электродной проволоки со скоростями 10–50 м/мин. Установлено, что плотность тока и напряжение дуги значительно влияет на характер переноса металла. Экспериментально установлено, что при сварке электродной проволокой диаметром 1.2, 1.6 и 2.0 мм в повышенной плотности тока увеличивается производительность расплавления G_n (14,6 кг/ч) и коэффициент наплавки α_n (28 г / А·ч), что в 1,5 ... 4 раза больше, чем при сварке с обычной плотностью сварочного тока (90 ... 230 А/мм²). При увеличении силы сварочного тока с 350 до 700 А глубина проплавления увеличивается с 5 до 11 мм, а ширина шва увеличивается с 12 до 21 мм, высота усиления с 1,5 до 4,5 мм. При сварке в смесях с большим содержанием аргона характерно резкое снижение разбрызгивания, улучшение формирования и внешнего вида шва. Эксперименты показали, что при токах, больших, чем 200 А, процесс сварки с увеличением тока становится более стабильным, крупнокапельный перенос металла переходит в мелкокапельный, разбрызгивание уменьшается. Учитывая чувствительность процесса сварки на повышенных токах к изменению напряжения дуги и длине вылета электрода, основное преимущество следует отдавать автоматической и роботизированной сварке.

Ключевые слова: механизированная сварка, струйно-вращательный перенос, крупнокапельный перенос, плотность тока, защитные газы, разбрызгивание.

В останні роки у зв'язку з розширенням використання сумішей на основі аргону інтерес до зварювання на підвищених струмах помітно зростає. Одним із шляхів вирішення завдання підвищення якості зварюваного металу при автоматичному зварюванні в середовищі захисних газів є підвищення щільності струму. Під впливом електромагнітних і інших сил розігрітий і розплавлений торець електрода починає обертатися. Сила зварювального струму, виліт і діаметр електрода обговорюють умови переходу від струменевого перенесення до струменево-обертального. Процеси зварювання на підвищеній щільності струму в режимі дрібнокапельного або струменево-обертального перенесення вимагають зварювальні матеріали високої якості і надійних систем подачі електродного дроту зі швидкостями 10–50 м/хв. Встановлено, що щільність струму і напруга дуги значно впливає на характер перенесення металу. Експериментально встановлено, що при зварюванні електродним дротом діаметром 1.2, 1.6 і 2.0 мм в підвищеній щільності струму збільшується продуктивність розплавлення G_n (14,6 кг/год) і коефіцієнт наплавлення α_n (28 г/А·год), що в 1,5 ... 4 рази більше, ніж при зварюванні зі звичайною щільністю зварювального струму (90 ... 230 А/мм²). При збільшенні сили зварювального струму з 350 до 700 А глибина проплавлення збільшується з 5 до 11 мм,

а ширина шва збільшується з 12 до 21 мм, висота посилення з 1,5 до 4,5 мм. При зварюванні в сумішах з великим вмістом аргону характерно різке зниження розбризкування, поліпшення формування і зовнішнього вигляду шва. Експерименти показали, що при струмах, великих ніж 200 А, процес сварки зі збільшенням струму стає більш стабільним, крупнокапельне перенесення металу переходить в дрібнокапельне, розбризкування зменшується. З огляду на чутливість процесу зварювання на підвищених струмах до зміни напруги дуги і довжини вильоту електрода, основну перевагу слід віддавати автоматичному і роботизованому зварюванню.

Ключові слова: механізоване зварювання, струменево-обертальне перенесення, крупнокапельне перенесення, щільність струму, захисні газы, розбризкування.

One of the ways to solve the problem of improving the quality of the welded metal in automatic welding in protective gas is to increase the current density. In recent years, due to the increased use of argon-based mixtures, interest in welding at higher currents is noticeably increasing. Under the influence of electromagnetic and other forces, it is heated and melted the end of the electrode begins to rotate. The strength of the welding current, the overhang and the diameter of the electrode specify the conditions for the transition from jet transfer to jet - rotational. Quarreling processes at high current densities in the drip-drop or jet-rotational transfer mode require high-quality welding materials and reliable electrode wire feeding systems with speeds of 10-50 m / min. It has been established that the current density and the arc voltage significantly affect the nature of the metal transfer. It was established experimentally that when welding with electrode wire with a diameter of 1.2, 1.6 and 2.0 mm in increased current density increases the melting capacity G_n (14.6 kg/h) and the deposition coefficient α_n (28 g/A·h), which is 1.5 ... 4 times more than when welding with the usual density of welding current (90 ... 230 A/mm²). With an increase in the strength of the welding current from 350 to 700 A, the depth of penetration increases from 5 to 11 mm, and the weld width increases from 12 to 21 mm, the height of the gain from 1.5 to 4.5 mm. When welding in mixtures with a high content of argon is characterized by a sharp decrease in spatter, improving the formation and appearance of the seam. Experiments have shown that with currents greater than 200 A, the quarrel process becomes more stable with increasing current, the transfer of the transition metal into the drip drop, and the splashing decrease. Given the sensitivity of the welding process at high currents to a change in the arc voltage and the length of the electrode overhang, the main advantage should be given automatically and robotic welding.

Keywords: mechanized welding, strength-obertal transmission, clear-pelned transmission, density of current, protected gas, discontinuation.

Власов А. Ф.

д-р техн. наук, проф. каф. ОиТСП ДГМА
sp@dgma.donetsk.ua

Грицай Т. С.

студент каф. ОиТСП ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 791.75

Власов А. Ф., Грицай Т. С.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПІДВИЩЕНОЇ ЩІЛЬНОСТІ СТРУМУ НА ПРОЦЕС ЗВАРЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ ЗАХИСНИХ ГАЗІВ

Зварювання в захисних газах в порівнянні з іншими способами зварювання має такі переваги як: висока якість зварних з'єднань на різноманітних металах і сплавах різної товщини; можливість зварювання в різних просторових положеннях; можливість візуального спостереження за поверхнею шва, що особливо важливо при напівавтоматичному зварюванні; відсутність операцій по засипці і прибиранню флюсу і видаленню шлаку; висока продуктивність і легкість механізації та автоматизації; низька вартість при використанні активних захисних газів [1].

По виду застосовуваних захисних газів цей вид зварювання поділяється на зварювання: в інертних газах; в активних газах; в суміші інертних і активних газів; з струминевим захистом. В якості захисних газів в зварювальному процесі використовуються інертні гази (аргон і гелій), активні (вуглекислий газ, водень, кисень і азот), газові суміші (Ar + He, Ar + CO₂, Ar + O₂, CO₂ + O₂ та ін.). Широке застосування в промисловості отримали суміші на основі аргону: подвійні, які складаються з Ar з добавкою 1–12 % O₂ або 2–40 % CO₂, і потрійні, що складаються з Ar з 1–6 % O₂ і 5–25 % CO₂. Знаходять застосування і суміші CO₂ + 20–40 % O₂.

Активні гази використовуються для забезпечення необхідних властивостей шва, що зварюється. Використовуючи газові суміші домагаються стійкості дуги, поліпшення форми шва, зменшення розбризкування металу, що зварюється.

Зварювання з газовим захистом має такі переваги:

- високий ступінь концентрації дуги, що забезпечує мінімальну зону структурних перетворень і відносно невеликі деформації виробу;
- високу продуктивність;
- високоефективний захист розплавленого металу, особливо при використанні в якості захисного середовища інертних газів;
- можливість візуального спостереження за ванною і дугою;
- низьку вартість виконання зварювальних робіт при застосуванні в якості захисного середовища активних газів (CO₂, сумішей газів);
- можливість зварювання металів різної товщини від частки міліметра до десятків міліметрів;
- відсутність необхідності застосування флюсів і обмазок;
- широку можливість механізації і автоматизації;
- можливість зварювання в різних просторових положеннях [2].

При зварюванні в захисних газах залежно від характеристик захисного газу й обраних параметрів режиму можливі різні варіанти переносу металу. При використанні електродного дроту діаметром 1,6 мм, коли швидкість її подачі максимальна (близько 11 м/хв), відбувається так званий струминний перенос електродного металу ($I_{зв} \approx 450$ А), і продуктивність плавлення електродного дроту становить приблизно 10 кг/год. У результаті вдосконалення цього способу зварювання при використанні електродного дроту діаметром 1,2 мм удалося збільшити швидкість подачі до 50 м/хв ($I_{зв} \approx 600$ А) і підвищити продуктивність плавлення електрода до 25 кг/год [3].

У роботах [3–5] розглянута можливість використання зварювання на великих щільностях струму для підвищення продуктивності розплавлення електродного дроту, глибини проплавлення й швидкості зварювання, особливості горіння дуги, характер переносу металу,

металургійні процеси на стадії каплі й ванни в цих умовах. Було встановлено, що щільність струму й напруга дуги значною мірою впливають на характер переносу металу й формування шва. До зварювання в захисних газах на підвищеній щільності струму відносять процес, при якому щільність струму, що протікає по електроду, перевищує 250 А/мм^2 [5].

На рис. 1 показані види переносу металу і режими зварювання дротом Св-08Г2С діаметром 1,2, 1,6, 2,0 мм [3].

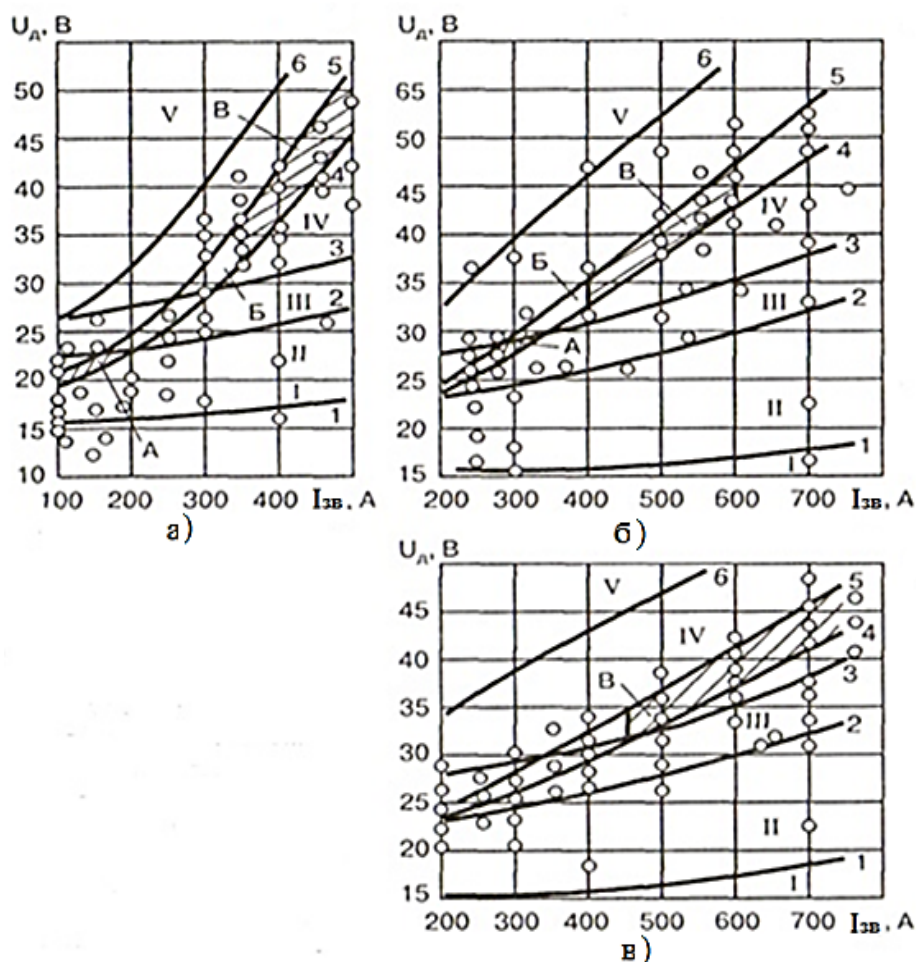


Рис. 1. Види переносу металу й режимів зварювання:

а) дротом діаметром 1,2 мм; б) дротом діаметром 1,6 мм; в) дротом діаметром 2,0 мм; I – процес без розплавлення дроту; II – перенос короткими замиканнями; III – змішаний потік; IV – дрібнокапельний перенос без коротких замикань; V – обрив дуги

Заштрихована область А – область оптимального режиму зварювання з коротким замиканням, в області Б спостерігається зниження стійкості процесу і максимальне розбрикування, а область В характеризує оптимальний режим з дрібнокапельним перенесенням без коротких замикань і мінімальним розбрикуванням.

Метою даної роботи є дослідження впливу щільності струму на продуктивність зварювання, форму шва, глибину проплавлення, механічні властивості металу.

Класифікація типів зварювальних дуг залежно від діапазонів сили зварювального струму в захисному газі типу ТІМЕ дротом діаметром 1,2 мм показана на рис. 2 [6].

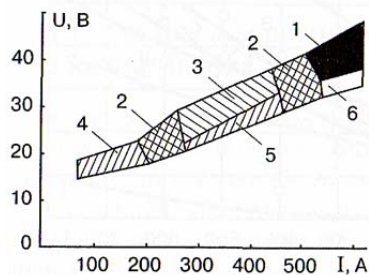


Рис. 2. Класифікація типу дуги залежно від параметрів зварювання у захисному газі TIME електродним дротом SG2 діаметром 1,2 мм:

1 – обертова дуга; 2 – перехідні ділянки; 3 – струминна дуга; 4 – коротка дуга; 5 – високопродуктивна коротка дуга; 6 – високопродуктивна струминна дуга

При зварюванні електродним дротом діаметром 1.2, 1.6 і 2.0 мм на підвищеній щільності струму збільшується продуктивність розплавлення G_n і коефіцієнт наплавлення α_n (рис. 3) [3].

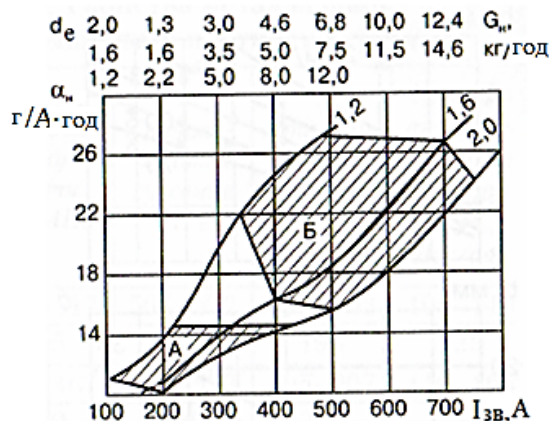


Рис. 3. Збільшення продуктивності розплавлення і коефіцієнта наплавлення на підвищеній щільності струму (А – зварювання на звичайній щільності струму; Б – зварювання на підвищеній щільності струму)

Зі збільшенням сили зварювального струму до 700 А α_n сягає 28 г/А·год, а G_n – 14,6 кг/год, що в 1,5...4 рази більше, чим при зварюванні зі звичайною щільністю зварювального струму (90...230 А/мм²) [7].

Вплив параметрів режиму зварювання на глибину проплавлення і форму шва при зварюванні дротом 1,6 мм показаний на рис. 4. При збільшенні сили зварювального струму з 350 до 700 А глибина проплавлення збільшується з 5 до 11 мм, а ширина шва зростає з 12 до 21 мм, висота посилення з 1.5 до 4.5 мм.

При зварюванні дротом діаметром 1.6 і 2.0 мм шви мають більш сприятливу форму в порівнянні зі швами при зварюванні дротом діаметром 1.2 мм. Зі збільшенням напруги вище оптимального на 2–3 В для обраної сили струму втрати на розбризування різко зростають, досягаючи 15–20 %. Зі збільшенням сили струму вище 550 А, при зварюванні дротом діаметром 1.2 мм, вище 750 А, при зварюванні дротом діаметром 1.6 мм і вище 800 А, при зварюванні дротом діаметром 2.0 мм, спостерігається незадовільне формування шва і надмірне розбризування [3, 4]. Довжина вильоту електрода при зварюванні на підвищених щільностях струму знаходиться в межах, наведених у табл. 1 [3].

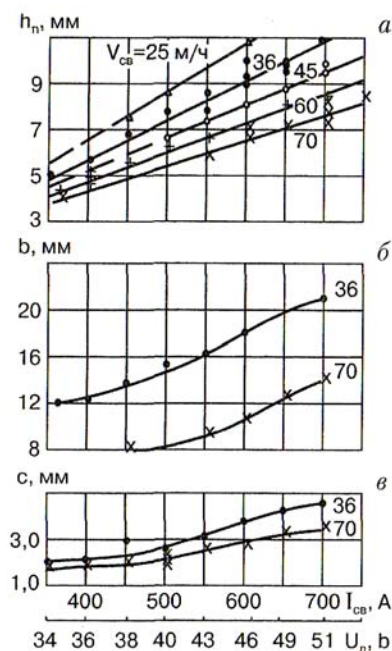


Рис. 4. Вплив параметрів режиму зварювання на глибину проплавлення і форму шва при зварюванні дротом 1.6 мм:

а – глибина проплавлення; б – ширина шва; в – висота посилення

Таблиця 1

Довжина вильоту електрода при зварюванні електродним дротом діаметром 1.6 і 2.0 мм

Діаметр електрода	Сила зварювального струму, А	Довжина найменшого вильоту електрода, мм	Допуск на довжину вильоту, мм
1,6	120-300	15	+2,0
	300-500	15	+3,0
	550-600	18	
	600-850		
2,0	300-500	15	+3,0
	550-650	18	
	700-850	20	

У табл. 2 наведені механічні властивості стикових зварних з'єднань зі сталі 10ХСНД товщиною 14 мм, зварених дротом Св-08Г2С діаметром 1.2...2.0 мм при підвищеній щільності струму й збільшеній швидкості зварювання [3].

Таблиця 2

Механічні властивості металу швів, виконаних в CO_2 на підвищених щільностях струму [3]

Режим зварювання				Тимчасовий опір розриву σ_B , МПа	Межа плинності σ_T , МПа	Відносне звуження Ψ , %	Відносне подовження δ , %	Ударна в'язкість металу шва при 20 ° С, Дж / см ²
Діаметр електрода, мм	Сила струму, А	Напруга дуги, В	Швидкість зварювання, м / гол					
1,2	450	47	60	585-620	473-517	504-572	182-203	106-140
				611	495	538	193	125
1,6	600	43	60	590-625	450-467	577-593	205-207	110-166
				605	460	580	206	145
2,0	700	43	60	580-623	454-540	562	200	120-168
				608	478			137

В останні роки у зв'язку з розширенням використання сумішей на основі аргону інтерес до зварювання на підвищених струмах помітно зростає [1, 2, 6]. Це пов'язано з можливістю використання як струминного, так і струминно-обертального перенесення, що забезпечують мінімальне розбризкування металу при підвищеній напрузі дуги. Суттєвим фактором є можливість поліпшення механічних властивостей зварних з'єднань у цих умовах. Результати механічних властивостей наплавленого металу при зварюванні в сумішах 60 % Ar + 30 % He + 10 % CO₂ (60/30/10), 75 % Ar + 15 % He + 10 % CO₂ (75/15/10) і 90 % Ar + 10 % CO₂ (90/10) дротом діаметром 1.2 мм марки SG2 на різних струмах приведені у табл. 3 [1].

Незначна відмінність між показниками границі текучості σ_T і тимчасовому опору на розрив σ_b зразків наплавленого металу, виконаних у різних газових сумішах (табл.3).

Таблиця 3

Механічні властивості наплавленого металу при зварюванні у захисних сумішах [3]

Захисний газ	Сила струму, А	Межа текучості σ_T , МПа	Тимчасовий опір розриву σ_b , МПа	Відносне подовження δ_5 , %	Робота удару KV, Дж, при T, °C			
					+20	-20	-40	-60
60/30/10	300	437,2	581,9	26,2	175,6	102,6	71,6	51,5
	350	436,2	586,0	26,0	157,5	73,1	58,8	27,0
	400	520,2	660,9	13,2	86,8	45,4	35,3	19,2
	300	462,9	580,5	30,3	195,7	107,9	104,1	39,7
75/15/10	350	459,4	583,2	26,6	168,7	116,7	61,9	39,2
	400	539,8	670,3	18,0	63,2	32,6	24,8	21,4
	300	528,5	615,2	25,5	140,2	94,1	76,5	26,0
90/10	350	473,0	598,2	24,8	158,9	117,6	56,5	40,2
	400	465,3	588,2	18,0	162,3	74,2	54,2	18,7

У той же час при зварюванні в сумішах, що містять гелій, значення σ_T і σ_b підвищилися при збільшенні сили зварювального струму (погонної енергії), а в суміші 90 % Ar + 10 % CO₂ понизилися.

Експерименти показали, що при струмах, більших чим 200 А, процес зварювання зі збільшенням струму поступово стає більш стабільним, крупнокапельний перенос металу переходить у дрібнокапельний, розбризкування зменшується. Коефіцієнт розплавлення й наплавлення, а також параметри швів зі збільшенням струму суттєво змінюються. Зміни характеру розбризкування при збільшенні струму від 300 до 400 А ілюструється рис. 5, на якому показаний зовнішній вигляд зразків безпосередньо після зварювання. Бризки на верхній зразка, отриманого при струмі більш 350 А, практично повністю видаляються сталеву щіткою [5].

За даними кінозйомки при зварюванні дротом 1.2 мм на силі струму понад 450 А (щільність струму $j > 400$ А/мм²) і дротом діаметром 1.6 мм на силі струму понад 600 А ($j > 300$ А/мм²) характер переносу металу змінюється [7]. Дуга починає обертатися після того, як значення зварювального струму перевищить критичне. Матеріал електрода, що плавиться, на вільному його кінці нагрівається до температури, близької до температури плавлення металу. При цьому торець електрода стає термопластичним і втрачає свою жорсткість. Реактивні сили плазмового потоку надають рух каплі на кінці електрода. Під впливом електромагнітних і інших сил розігрітий і розплавлений торець електрода починає обертатися. Сила зварювального струму, виліт і діаметр електрода обумовлюють умови переходу від струминного переносу до струминно-обертального. Автор роботи [5] назвав такий процес зварюванням обертовою дугою, а перенесення струминно-обертальним (рис. 6) [4].

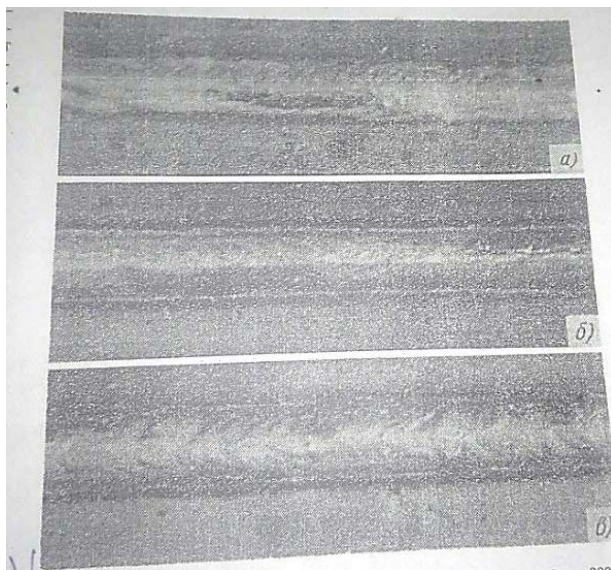


Рис. 5. Зовнішній вигляд зварних зразків:

а – $U = 34$ В, $I = 300$ А; б – $U = 38$, $I = 350$ А; в – $U = 33$ В, $I = 400$ А

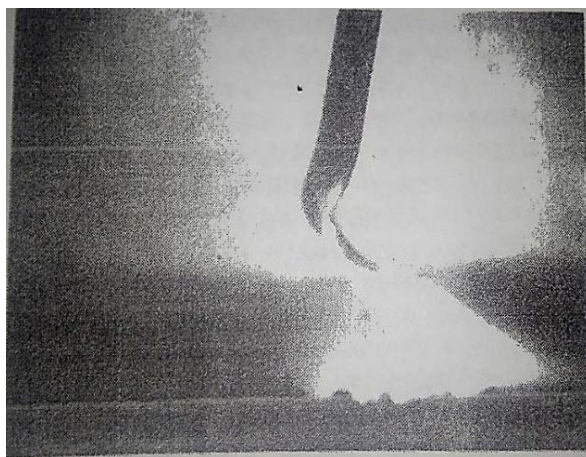


Рис. 6. Струминно-обертальний перенос електродного металу

Дуга починає обертатися після того, як значення зварювального струму перевищить критичне. Матеріал електрода, що плавиться, на вільному його кінці нагрівається до температури, близької до температури плавлення металу. При цьому торець електрода стає термопластичним і втрачає свою жорсткість. Реактивні сили плазмового потоку надають рух каплі на кінці електрода. Під впливом електромагнітних і інших сил розігрітих і розплавлених торця електрода починає обертатися. Сила зварювального струму, виліт і діаметр електрода обумовлюють умови переходу від струминного переносу до струминно-обертального.

Форма дуги при зварюванні обертовою дугою показана на рис. 7 [2].

В останнє десятиліття інтерес до зварювання обертовою дугою пов'язаний з особливою технологією, відомою за назвою процес TIME (Trans-ferred Ionized Molten Energy) [1, 6]. У цьому випадку застосовують запатентовану суміш чотирьох захисних газів. Для процесу TIME використовують суміш газів: 65 % Ar + 26,5 % He + 8 % CO₂ + 0,5 % O₂. За допомогою додавання гелію збільшують потенціал іонізації й градієнт потенціалу, що викликає зростання напруги й енергії дуги. Плазмовий потік стає могутнішим і стабілізує дугу. Іонізацію газу полегшує кисень, а CO₂ підвищує стабільність дуги й глибину проплавлення. Чотирьохкомпонентна суміш газів придатна для всіх видів перенесення електродного металу, включаючи струминно-обертальний.

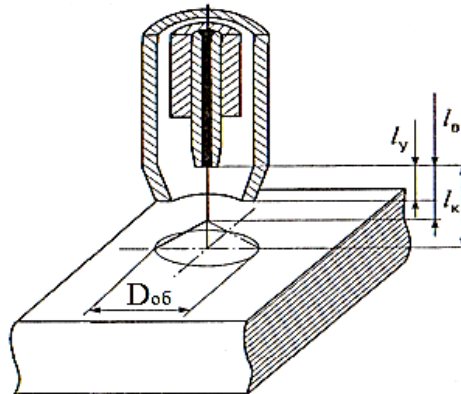


Рис. 7. Форма дуги й пальника:

$D_{об}$ – діаметр обертання (діаметр обертового руху дуги на поверхні виробу); l_3 – заглиблення мундштука, що підводить струм (відстань між кромкою сопла для захисного газу й контактним мундштуком); $l_к$ – розмір струмового каналу (відстань між кромкою й точкою прикладення дуги на виробі); $l_в$ – виліт дроту (відстань між кромкою мундштука, що підводить струм, й кінцем електродного дроту) [4]

ВИСНОВКИ

При зварюванні на підвищених щільностях струму щільність струму і напруга дуги є визначальною мірою впливу на характер перенесення металу і формування шва.

При зварюванні електродним дротом діаметром 1.2, 1.6 і 2.0 мм на підвищеній щільності струму збільшується продуктивність розплавлення G_n (14,6 кг/год) і коефіцієнт наплавлення α_n (28 г/А·год), що в 1,5...4 рази більше, чим при зварюванні зі звичайною щільністю зварювального струму (90...230 А/мм²).

При збільшенні сили зварювального струму з 350 до 700 А глибина проплавлення збільшується з 5 до 11 мм, а ширина шва зростає з 12 до 21 мм, висота посилення з 1,5 до 4,5 мм.

При зварюванні в сумішах з великим вмістом аргону характерно різке зниження розбрикування, поліпшення формування й зовнішнього вигляду шва.

Процеси зварювання на підвищених щільностях струму в режимі дрібнокапельного або струминно-обертального перенесення вимагають зварювальні матеріали високої якості і надійних систем подачі електродного дроту зі швидкостями 10–50 м/хв.

Враховуючи чутливість процесу зварювання на підвищених струмах до зміни напруги дуги й довжині вильоту електрода, основну перевагу слід віддавати автоматичному й роботизованому зварюванню.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чурнуг Б. Влияние состава защитного газа на показатели высокопроизводительной сварки плавящимся электродом в защитных газах / Б. Чурнуг // Автоматическая сварка. – 2000. – № 9–10. – С. 163–166.
2. Герольд Г. Особенности сварки в защитных газах со струйно-вращательным переносом электродного металла / Г. Герольд, И. Помранке, Г. Цвинкерт // Автоматическая сварка. – 1998. – № 11. – С. 40–47.
3. Ногаев Б. П. Сварка в углекислом газе на повышенной плотности тока / Б. П. Ногаев, А. П. Мазовко // Сварочное пр-во. – 1970. – № 5. – С. 16–18.
4. Золотых В. Г. Дуговая сварка в углекислом газе при повышенных токах / В. Г. Золотых, Ю. Г. Белоусов // Сварочное пр-во. – 1966. – № 3.
5. Con W. M. Die technische physik der Lichtbogenschweissung. – Berlin-Goettm-gen-Heidelberg: Springer-Verlag, 1959. – 386 s.
6. Дилтей У. Высокопроизводительные способы сварки плавящимся электродом в защитных газах / У. Дилтей, М. Л. Граве, П. Вармут // Автоматическая сварка. – 1996. – № 12. – С. 3–7.
7. Probst R., Metzke E., Franke D. Beitrag Zur CO — Hochstromschweissung // ZIS-Mitteilungen. – 1966. – № 12. – S. 1809–1827.