

ЕКОЛОГІЧНА СКЛАДОВА ДУГОВОГО ЗВАРЮВАННЯ ТА НАПРЯМОК ЇЇ ПІДВИЩЕННЯ

¹О.М. Савицький, ² О.М. Мандрик

¹ Інститут електрозварювання ім. Е.О.Патона; 03680, м. Київ, вул. Боженко, 11,
тел. (044) 2052321, e-mail: sam@paton.ua

² ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 727186,
e-mail: ief@nung.edu.ua

Розглядається можливість підвищення екологічної чистоти дугових зварювальних процесів. Показано, що мінімальна маса шкідливих речовин виділяється при дуговому зварюванні під флюсом, однак технологічні особливості даного способу різко обмежують області його застосування. Максимальна кількість шкідливих речовин виділяється при зварюванні порошковим дротом та ручному дуговому зварюванні. Вона на два порядки більша, ніж при зварюванні під флюсом, та на порядок порівняно із зварюванням в захисних газах дротом суцільного перерізу, яке за масою шкідливих виділень займає проміжне положення.

Основним напрямком зменшення маси шкідливих виділень при дуговому зварюванні є зменшення кількості металу, який необхідно наплавити для отримання зварного з'єднання. Однак низька проплавляюча здатність дуги вимагає застосування попереднього розкриття кромок і його наступного заповнення, що різко збільшує масу шкідливих виділень.

Активация підвищує проплавляючу здатність дуги і збільшує товщину металу, яку можна зварювати без попереднього розкриття кромок. Завдяки цьому в 2-3 рази зменшується кількість електродного металу, яку необхідно наплавити, і у стільки ж разів зменшується маса шкідливих виділень. Але даний технологічний прийом ефективний лише при зварюванні дротом суцільного перерізу у захисних газах (AMIG). При інших способах дугового зварювання він не діє.

Перспективою розвитку AMIG-процесу є удосконалення техніки його реалізації що забезпечує подальше підвищення проплавляючої здатності дуги і збільшення товщини зварних з'єднань, які можна виконувати без попереднього розкриття кромок з мінімальною кількістю наплавленого металу та маси шкідливих виділень.

Ключові слова: активация дуги, плавкий електрод, шкідливі виділення, низько вуглецеві сталі.

Рассматривается возможность повышения экологической чистоты дуговых сварочных процессов. Показано, что минимальная масса вредных веществ выделяется при дуговой сварке под флюсом, однако технологические особенности данного способа резко ограничивают области его применения. Максимальное количество вредных веществ выделяется при сварке порошковой проволокой и ручной дуговой сварке. Она на два порядка больше, чем при сварке под флюсом, и на порядок по сравнению со сваркой в защитных газах проволокой сплошного сечения, которая по массе вредных выделений занимает промежуточное положение.

Основным направлением уменьшения массы вредных выделений при дуговой сварке является уменьшение количества металла, который необходимо наплавить для получения сварного соединения. Однако низкая проплавляющая способность дуги требует применения предварительного раскрытия кромок и его последующего заполнения, что резко увеличивает массу вредных выделений.

Активация повышает проплавляющую способность дуги и увеличивает толщину металла, которую можно сваривать без предварительного раскрытия кромок. Благодаря этому в 2-3 раза уменьшается количество электродного металла, которое необходимо наплавить, и во столько же раз уменьшается масса вредных выделений. Но данный технологический прием эффективен только при сварке проволокой сплошного сечения в защитных газах (AMIG). При других способах дуговой сварки он не действует.

Перспективой развития AMIG-процесса является совершенствование техники его реализации, обеспечивающий дальнейшее повышение проплавляющей способности дуги и увеличения толщины сварных соединений, которые можно выполнять без предварительного раскрытия кромок с минимальным количеством наплавленного металла и массы вредных выделений.

Ключевые слова: активация дуги, плавкий электрод, вредные выделения, низкоуглеродные стали.

The possibility of ecological purity of arc welding processes was considered. It was illustrated that the minimum mass of hazardous substances emitted during submerged arc welding, but technological characteristics of this method restrict its application. The maximum amount of hazardous substances emits during flux-cored wire welding and manual arc welding. It is higher by two orders as compared with the submerged arc welding and one order as compared with the gas shielded solid wire welding that harmful emissions mass occupies the intermediate position.

The main direction of the hazardous emissions mass decrease during arc welding is to reduce the amount of metal to be built-up for the welded joint. However, low arc penetration capacity requires prior opening of edges and their subsequent filling, which increases the mass of harmful emissions substantially.

Activation increases the arc penetration capacity and metal thickness that can be welded without edge opening. Thanks this fact, the amount of built-up electrode metal decreases 2-3 times, the mass of hazardous emissions, thus, decreases too. But this technique is effective only for solid wire welding in shielding gases (AMIG). It is useless for other types of arc welding.

The AMIG-process development process lies in improvement of its implementation techniques providing further increase of arc penetration capacity and thickness of the welded joints that can be performed prior edge opening with a minimum amount of built-up metal and the mass of hazardous emissions.

Keywords: arc activation, fusible electrode, hazardous emissions, low-carbon steels.

Вступ

В останні десятиліття одним з основних напрямків розвитку провідних галузей виробництва, таких як машинобудування, транспорт та енергетика, є екологічний моніторинг. І ця тенденція набуває все більшого поширення в світі.

Одним із шляхів підвищення екологічної чистоти автомобільного транспорту є заміна нафтового пального природним газом. З точки зору екологічної безпеки, природний газ має переваги, оскільки не вимагає шкідливих технологій підготовки, а при згорянні в двигунах виділяє майже удвічі менше оксидів вуглецю, азоту та ароматичних вуглеводнів [1].

В енергетиці все частіше використовують альтернативні екологічно чисті джерела енергії, прикладом чого є вітроенергетика.

В машинобудуванні зростають вимоги до екологічної чистоти виробничих процесів та матеріалів, які в цих процесах задіяні.

Одним із найпоширеніших технологічних процесів машинобудування та інших галузей виробництва є зварювання. На сьогодні це основний спосіб отримання нероз'ємних з'єднань будь-яких металевих конструкцій. Причому лівова частка у виробництві металевих конструкцій належить дуговому зварюванню. Це обумовлено тим, що на сучасному етапі економічного і технічного розвитку світу основним конструкційним матеріалом залишаються вуглецеві сталі, і дана тенденція збережеться в найближчому майбутньому. Основна маса зварних з'єднань вуглецевих та легованих сталей отримується саме із застосуванням дугового зварювання. І хоча в останні десятиліття розвиваються й інші методи зварювання, такі як лазерне, електронно-пучкове, гібридні процеси, першість належить дуговому зварюванню, що обумовлено низкою об'єктивних передумов. Для дугового зварювання притаманні: достатньо висока продуктивність, мобільність, простота в реалізації, висока якість зварних з'єднань [2, 3]. Обладнання, необхідне для реалізації дугового зварювання, значно дешевше і простіше, ніж для лазерного, електронно-пучкового та гібридного [2], а підготовка значно дешевша і менш трудомістка. Ці переваги сприяють широкому розповсюдженню дугового зварювання в різних галузях виробництва. Особливо широко дугові зварювальні процеси застосовуються в польових умовах під час будівництва і ремонту трубопроводів для транспортування нафти і газу. Тому проблема підвищення екологічної безпеки та чистоти надзвичайно актуальна для дугових процесів.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень

У світовій практиці традиційним підходом є не підвищення екологічної чистоти окремих способів зварювання, а забезпечення екологічної чистоти зварювального виробництва. Для зниження концентрації шкідливих речовин на робочих місцях їх оснащують засобами вентиляції – витяжної чи приточно-витяжної. Очищення вентиляційних викидів від шкідливих речовин забезпечується за рахунок обладнання вентиляційних систем фільтрами та іншими очисними засобами [4]. Ефективність очищення з допомогою таких заходів не нижча 0,95.

Підвищенню екологічної чистоти зварювальних процесів сприяє застосування матеріалів з пониженим вмістом шкідливих речовин. Однак у цьому випадку вираш дуже незначний, тому що механічні властивості зварних з'єднань, як правило, забезпечуються за рахунок легування металу зварних швів. А це, у свою чергу, забезпечується відповідним легуванням зварювальних матеріалів – електродів та електродних дротів, і суттєво знизити вміст ряду легуючих елементів, які відповідають за якість і властивості зварних швів та за вміст шкідливих речовин у зоні зварювання практично неможливо.

Тому на сьогодні основним напрямком підвищення екологічної чистоти зварювання є очищення вентиляційних викидів від шкідливих речовин.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми

Питання підвищення екологічної чистоти зварювального виробництва за рахунок очищення та фільтрації вентиляційних викидів досить легко вирішуються у випадку виконання зварювальних робіт в цехових умовах, або умовах закритих приміщень. Однак необхідно враховувати, що значні об'єми зварювальних робіт виконуються в умовах відкритого простору на монтажі. До таких робіт відносяться будівництво та ремонт трубопроводів для транспортування нафти та газу, монтаж резервуарів та судин високого тиску для накопичення та зберігання нафти і газу тощо. Практичний досвід свідчить, що в цих умовах забезпечити фільтрування та очищення атмосфери в зоні зварювання практично неможливо. Тому для виконання зварювальних робіт доцільно застосовувати способи зварювання, які характеризуються порівняно високими показниками екологічної чистоти. А також доцільно розробляти технологічні заходи, які знижують масу шкідливих речовин, що виділяються при зварюванні.

Цілі статті

Мета даної роботи - визначення напрямків підвищення екологічної безпеки та чистоти дугового зварювання.

Для досягнення вказаної мети необхідно було вирішити наступні задачі:

- оцінити і порівняти екологічну безпеку та чистоту різних способів дугового зварювання;
- проаналізувати технологічні можливості різних способів дугового зварювання з точки зору їх адаптації до умов виконання зварних з'єднань;
- визначити основні напрямки підвищення екологічної чистоти дугових зварювальних процесів та їх ефективність.

Методи досліджень: статистичний аналіз експериментальних даних; розрахунок кількості шкідливих речовин, що виділяються при різних способах дугового зварювання; аналіз та оцінка їх технологічних характеристик.

Основний матеріал

Сучасний етап технічного і економічного розвитку як в світі, так і в Україні характеризується масовим використанням в усіх галузях виробництва вуглецевих або ферито-перлітних сталей. В свою чергу, серед усієї гами вуглецевих сталей за об'ємами використання домінують низьковуглецеві нелеговані і леговані сталі. Масовість використання цих сталей в усіх галузях зварювального виробництва пояснюється їх необмеженою зварюваністю, яка забезпечує простоту і порівняно низьку трудомісткість отримання та високу якість зварних з'єднань. Як правило, в металі зварних з'єднань цих сталей формуються перлітні та ферито-перлітні структури (рис. 1), з показниками пластичності і міцності не нижче, ніж у основного металу (табл. 1) [5]. Тобто при зварюванні вказаних сталей досягається рівномірність основного металу та металу зварних з'єднань. Це забезпечує їх високу працездатність і стійкість в широкому інтервалі температур навколишнього середовища, а також низьку чутливість до різних перепадів температури. Тому низьковуглецеві нелеговані і леговані сталі широко застосовуються в усіх галузях машинобудування, суднобудуванні, ядерній і тепловій енергетиці, для виготовлення оболонкових конструкцій і т.д., а для їх зварювання дуговими способами використовуються низьковуглецеві низьколеговані зварювальні матеріали.

До дугових способів зварювання відносяться наступні: аргоно-дугове зварювання неплавким електродом, зварювання під флюсом, зварювання плавким електродом в захисних газах, зварювання порошковим дротом і ручне дугове зварювання штучними електродами.

Серед усіх способів дугового зварювання найбільш екологічно чистим є аргоно-дуговий спосіб [6]. Крім цього, об'єми його застосування при зварюванні низьковуглецевих нелегованих і легованих сталей надзвичайно малі в порівнянні з іншими способами дугового зварю-

вання. Це обумовлено низькою продуктивністю даного способу. Тому докладно розглядати його нецільно.

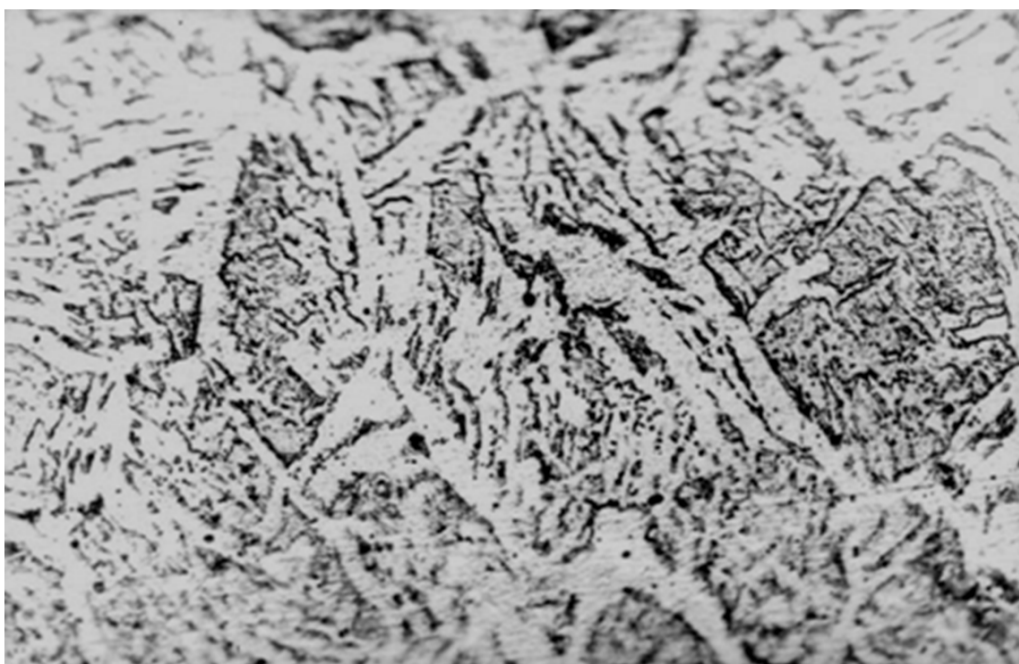
Для інших перерахованих вище способів дугового зварювання низьковуглецевих нелегованих і легованих сталей низьковуглецевими низьколегованими матеріалами основним показником екологічної чистоти є кількість марганцю, що виділяється при зварюванні [4], і визначається кількістю розплавленого зварювального матеріалу [2, 4].

Практичний досвід свідчить, що для отримання якісних зварних з'єднань ручним дуговим способом штучними електродами метал товщиною більше 3 мм необхідно зварювати з попередньою підготовкою кромок. Це також рекомендує і ГОСТ 5264-69 [7], який визначає основні типи, конструктивні елементи і розміри зварних з'єднань при ручному дуговому зварюванні. При зварюванні плавким електродом в захисних газах сталевих елементів товщиною від 3 мм також рекомендується виконувати з попередньою підготовкою кромок [8]. Однак у відповідності до практичного досвіду, попередня підготовка кромок для даного способу доцільна, починаючи приблизно з 5 мм. Попередню підготовку кромок до зварювання під флюсом рекомендується застосовувати починаючи із 8 мм [9].

Перевірка технологічних можливостей дугового зварювання плавким електродом в захисних газах і під флюсом свідчить, що даний спосіб здатен забезпечувати одностороннє зварювання з повним проплавленням без попередньої підготовки кромок метал товщиною до 10мм. Однак для цього потрібна погонна енергія майже 25000Дж/см. В результаті такого тепловкладення зварюваний метал перегрівається. І хоча вказана вище група сталей характеризується високими показниками зварюваності, однак у таких умовах, як свідчать дані табл. 2, показники в'язкості і пластичності зварного з'єднання знижуються, що свідчить про зниження його якості і, відповідно, працездатності. Із збільшенням погонної енергії ця тенденція поглиблюється.

Серед дугових способів зварювання найбільшу проплавляючу здатність дуги має зварювання під флюсом, через те, що коефіцієнт корисної дії дуги при даному способі найвищий. Тому даним способом можна проплавити товщину, більшу ніж зварюванням в захисних газах, але небезпека перегріву вимагає обмеження погонної енергії і, відповідно, зварювального струму. Тому зварювання виконується з попередньою підготовкою кромок за кілька проходів із обмеженням погонної енергії кожного проходу.

З урахуванням вимог ГОСТ [7 – 9] та реальних умов виконання зварних з'єднань дуговими способами за основу були прийняті такі умови. Товщина зварюваного металу – 10 мм, зварне з'єднання стикове одностороннє. У цьому випадку для всіх способів дугового зварювання передбачена попередня підготовка кромок. Для зварювання під флюсом оптимальними типами



а)



б)

а) ферито-перлітна мікроструктура; б) перлітна мікроструктура
Рисунок 1 – Мікроструктури зварних з'єднань низьковуглецевої сталі

Таблиця 1 – Механічні властивості основного металу і металу зварних з'єднань низьковуглецевих нелегованих і легуваних сталей

Марка сталі	Місце випробувань	$\sigma_{\text{т}}$, МПа	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	δ , %	ψ , %
Сталь 20	Основний метал	288,3	412,3	23,3	67,9
	Зварне з'єднання	374,4	499,3	22,6	71,6
09Г2С	Основний метал	280,7	455,4	16,0	64,0
	Зварне з'єднання	270,3	503,4	18,3	62,0
17Г1С	Основний метал	363,3	507,9	17,4	58,4
	Зварне з'єднання	363,3	517,8	17,3	58,6

Таблиця 2 – Механічні властивості основного металу і зварного з'єднання
низьковуглецевої сталі при +20°C

Погонна енергія зварювання, Дж/см	Місце випробувань	KCV, Дж/см ²	δ, %	ψ, %
25948	основний метал	71,4	35,8	65,5
	зварне з'єднання	61,0	22,7	61,7

Таблиця 3 – Кількість шкідливої речовини, що виділяється
при різних способах дугового зварювання одного погонного метра стикового шва

Спосіб зварювання	Питомі виділення шкідливої речовини (Mn), г/кг		Тип зварного з'єднання	Маса наплавленого металу, кг	Маса розплавленого зварювального матеріалу, кг	Маса шкідливої речовини (Mn), г	
	min	max				min	max
під флюсом	0,01	0,04	C9	0,587	0,592	0,006	0,024
			C18	0,718	0,725	0,007	0,029
в захисних газах дротом суцільного перерізу	-	0,5	C8	0,558	0,603	-	0,302
			C17	0,381	0,411	-	0,206
порошковим дротом	0,76	2,18	C8	0,558	0,670	0,509	1,461
			C17	0,381	0,457	0,347	0,996
ручне дугове штучними електродами	0,42	1,95	C8	0,513	0,821	0,345	1,601
			C17	0,492	0,787	0,331	1,536

зварних з'єднань є C9 та C18 з попередньою підготовкою однієї та двох кромки [9]. З'єднання типу C8 та C17 також з попередньою підготовкою однієї та двох кромки є оптимальним для зварювання в захисних газах та ручного дугового зварювання штучними електродами [7, 8]. Екологічні показники кожного способу дугового зварювання визначалися із розрахунку на один погонний метр шва.

За методикою, наведеною в [10], була визначена кількість наплавленого металу для кожного способу зварювання. Результати розрахунку наведені в табл. 3.

Маса розплавленого зварювального матеріалу визначається множенням маси наплавленого металу на коефіцієнт витрати зварювального матеріалу [11-15], а кількість шкідливих речовин - множенням маси розплавленого зварювального матеріалу на питомі виділення шкідливих речовин [4]. Результати цих розрахунків наведені в табл. 3. Для всіх способів (крім зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу) наведено максимальні і мінімальні маси шкідливої речовини, яка виділяється при дуговому зварюванні низьковуглецевих сталей. Все залежить від марки зварювального матеріалу, який застосовується в конкретному випадку. Лише для зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу наведено максимальні значення виділення марганцю. Це пов'язано з тим, що основним дротом, який застосовується для зварювання низьковуглецевих сталей, є Св08Г2С.

Дані, наведені в табл. 3, свідчать, що мінімальні шкідливі виділення марганцю характерні для зварювання під флюсом. Це обумовлено

тим, що горіння зварювальної дуги і плавлення електроду відбувається у замкненому просторі, обмеженому шлаком.

Наступним, за масою шкідливих виділень, є зварювання в захисних газах електродом суцільного перерізу. Даний спосіб відноситься до способів зварювання відкритою дугою, тому кількість шкідливих виділень збільшується на порядок порівняно із попереднім способом.

Максимальна маса виділення шкідливих речовин, як свідчать дані табл. 3, притаманна зварюванню порошковим дротом та ручному дуговому зварюванню штучними електродами, які також відносяться до способів зварювання відкритою дугою.

Таким чином, мінімальну кількість шкідливих викидів забезпечує зварювання під флюсом. Крім цього, показники якості зварних з'єднань та продуктивності зварювання у даного способу також одні із найвищих. Зварювання під флюсом не чутливе до руху повітря, що порушує захист зони горіння дуги при зварюванні в захисних газах. З урахуванням наведеного, даний спосіб повинен мати найширше застосування. Однак його ефективність проявляється тільки при зварюванні в нижньому, або близькому до нього положенні. В інших просторових положеннях неможливо утримати захисний флюс на зварному з'єднанні. І хоча до цієї проблеми періодично повертаються, однак ефективного вирішення даної проблеми на даний час нема.

Крім цього, зварювання під флюсом реалізується в основному в автоматичному режимі, а тому воно ефективне при великій довжині зварних швів – не менше 1 м.

Таблиця 4 – Механічні властивості основного металу і зварного з'єднання низьковуглецевої сталі, виконаного з активацією дуги

Температура випробування	Місце випробувань	σ_b , МПа	σ_T , МПа	KCV, Дж/см ²
+20°C	Основний метал	476,5	349	71,0
	Зварне з'єднання	664,4	550	78,7

З урахуванням наведеного, зварювання під флюсом застосовується виключно в цехових умовах там, де необхідно зварювати шви великої довжини та існує можливість виконувати це в нижньому положенні. В монтажних умовах даний спосіб зварювання не використовується.

Зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу – один із найбільш універсальних і наймасовіших способів зварювання. Він реалізується в автоматичному і напівавтоматичному режимах, що забезпечує його ефективність при виконанні коротких і довгомірних з'єднань. Характеризується високою якістю зварних з'єднань і продуктивністю зварювання в усіх просторових положеннях. Єдиний його недолік – газовий захист зони зварювання чутливий до руху повітря, що утруднює реалізацію даного способу в умовах відкритого простору. Однак на даний момент ця проблема вирішується місцевим захистом від вітру і протягів. Поширенню даного способу сприяють також мобільність, легкість і доступність обладнання для його реалізації.

Як свідчать дані табл. 3, за рівнем екологічної чистоти зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу стоїть на другому місці після зварювання під флюсом.

Не менш ефективним є зварювання порошковим дротом, однак його поширення стримується гігроскопічністю зварювальних матеріалів, та необхідністю їх термічної обробки перед зварюванням з метою зневоднення. Допускається лише одноразова термообробка. Крім цього, як свідчать дані табл. 3, даний спосіб дугового зварювання за масою шкідливих виділень перевищує попередній на порядок, а зварювання під флюсом – на два порядки.

Ручне дугове зварювання завдяки своїй простоті та можливості реалізації в усіх просторових положеннях і в умовах відкритого простору все ще залишається наймасовішим способом зварювання на монтажі. Однак він ефективний лише для виконання коротких зварних з'єднань, тому що має найнижчу з усіх дугових способів зварювання продуктивність. За екологічними показниками, як свідчать дані табл. 3, цей спосіб близький до зварювання порошковим дротом.

Дані, наведені в табл. 3 також свідчать, що чим більше металу необхідно наплавити для формування зварного з'єднання, тим більша маса шкідливих виділень. Отже, для покращення їх екологічних показників при дугових способах зварювання плавким електродом доцільно зменшувати кількість наплавленого металу, необхідного для утворення зварного з'єднання. Однак низька проплавляюча здатність дуги протидіє цьому і обмежує товщини, які зварю-

ються без попереднього розкриття кромки. Найпростішим способом зменшити кількість наплавленого металу, необхідного для формування зварного з'єднання, є звуження розкриття кромки. Однак і у цьому випадку мінімальна ширина розкриття перевищує 10 мм.

У роботах [5, 6] наведено дані про вплив активації дуги на технологічні і екологічні показники аргоно-дугового зварювання. Показано, що за рахунок активації дуги забезпечується покращення екологічних показників аргоно-дугового зварювання та в 2-3 рази зростає товщина металу, який можна зварювати без попередньої підготовки кромки. Даний спосіб відомий в світі як ATIG.

Досвід застосування активації дуги при зварюванні плавким електродом показав, що при ручному дуговому зварюванні, зварюванні порошковим дротом та під флюсом даний технологічний прийом не діє. Його ефективність проявляється лише при зварюванні дротом суцільного перерізу в захисних газах (AMIG). Активация дуги збільшує її проплавляючу здатність не менше ніж у 2 рази і забезпечує можливість виконання зварних з'єднань товщиною 10 мм (рис. 2) без підготовки кромки на погонних енергіях 9000 – 8000 Дж/см в залежності від інтенсивності впливу активації на проплавляючу здатність дуги. При таких значеннях погонної енергії зварювання в металі зварних з'єднань низьковуглецевих сталей формуються дрібнозернисті структури перелітного, або ферито-перлітного типів, аналогічні наведеним на рис. 1. Такі структури забезпечують металу зварних з'єднань показники міцності і в'язкості вищі, ніж у основного металу (табл. 4).

При цьому, як свідчать дані табл. 5, кількість металу, який необхідно наплавити для утворення зварного з'єднання і, відповідно, кількість електродного металу, що розплавляється, майже в 2-3 рази менша, ніж при зварюванні традиційним способом. Відповідним чином (в 2-3 рази) зменшується і маса шкідливих виділень.

Таким чином, підвищення проплавляючої здатності дуги при зварюванні дротом суцільного перерізу в захисних газах забезпечує можливість виконання зварних з'єднань порівняно великої товщини однопровідними швами без попереднього розкриття кромки, за рахунок чого зменшується кількість електродного металу, яку необхідно розплавити та наплавити для утворення зварного з'єднання. В результаті різко зменшується маса шкідливих викидів. При цьому завдяки зменшенню погонної енергії зварювання якість і показники механічних властивостей не погіршуються.

Таблиця 5 – Кількість шкідливої речовини, що виділяється при зварюванні одного погонного метра стикового шва плавким електродом в захисних газах традиційним способом і з активацією дуги

Спосіб зварювання	Товщина зварюваного металу, мм	Питомі виділення шкідливої речовини (Mn), г/кг	Тип зварного з'єднання	Маса наплавленого металу, кг	Маса розплавленого зварювального матеріалу, кг	Маса шкідливої речовини (Mn), г
в захисних газах дротом суцільного перерізу	10	0,5	C8	0,558	0,603	0,302
			C17	0,381	0,411	0,206
в захисних газах дротом суцільного перерізу з активацією дуги	10	0,5	стикове без підготовки кромок	0,200	0,210	0,105

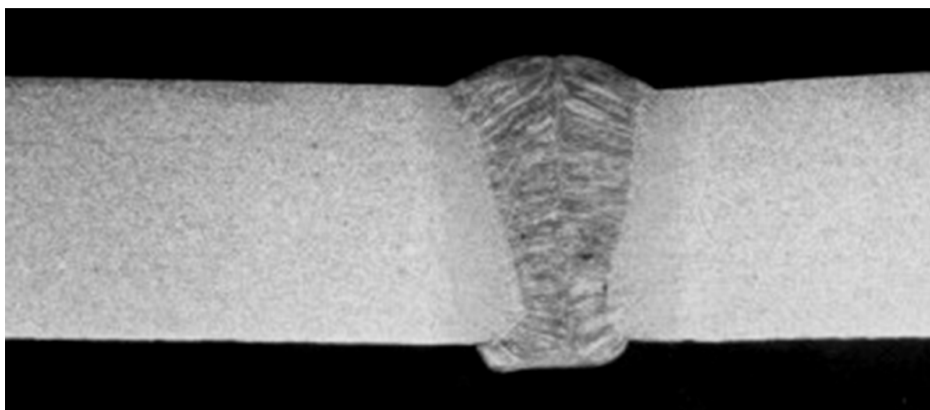


Рисунок 2 – Макрошліф зварного з'єднання товщиною 10 мм, виконаного за один прохід без попереднього розкриття кромок зварюванням в захисних газах дротом суцільного перерізу з активацією дуги [16]

Зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу, як і ручне дугове, є одним із наймасовіших способів дугових способів, і об'єми його застосування поступово зростають завдяки простоті реалізації, компактності обладнання, простоті механізації і автоматизації, високій якості зварних з'єднань та можливості їх виконання в усіх просторових положеннях, а також завдяки високій продуктивності. А у промислово-розвинутих країнах даний спосіб зварювання за об'ємами застосування значно випереджає інші. Тому підвищення показників його екологічної чистоти буде чинити позитивний вплив на екологічну чистоту тих галузей зварювального виробництва, де воно застосовується. А активація дуги при зварюванні в захисних газах на сьогодні є одним із ефективних способів підвищення показників його екологічної чистоти.

Висновки

1. Мінімальна маса шкідливих речовин виділяється при дуговому зварюванні під флюсом, чому сприяє спосіб захисту зони зварювання від впливу навколишнього середовища, однак технологічні і технічні особливості дано-

го способу зварювання різко обмежують області його застосування.

2. Максимальна кількість шкідливих речовин виділяється при зварюванні порошковим дротом та ручному дуговому зварюванні. Вона на два порядки більша, ніж при зварюванні під флюсом та на порядок – порівняно зі зварюванням в захисних газах дротом суцільного перерізу.

3. Зварювання в захисних газах дротом суцільного перерізу, яке є одним з наймасовіших дугових способів, за масою шкідливих виділень займає проміжне положення між зварюванням під флюсом та ручним дуговим способом і зварюванням порошковим дротом.

4. Для зменшення маси шкідливих виділень при дуговому зварюванні слід зменшувати кількість металу, який необхідно наплавити для отримання повноцінного зварного з'єднання.

5. Активація дуги при зварюванні плавким електродом у захисних газах підвищує її проплавлення здатність та збільшує товщину металу, яку можна зварювати без попереднього розкриття кромок без погіршення структури металу зварного з'єднання та показників його пластичності. Завдяки цьому в 2-3 рази зменшується кількість електродного металу, яку не-

обхідно розплавити та наплавити для утворення зварного з'єднання і, як наслідок, у стільки ж разів зменшується маса шкідливих викидів.

6. Перспективним напрямком розвитку AMIG-процесу є розробка техніки його реалізації, що забезпечує подальше підвищення проплавляючої здатності дуги і збільшення товщини зварних з'єднань, які можна виконувати без попереднього розкриття кромок з мінімальною кількістю наплавленого металу, що забезпечить подальше зменшення маси шкідливих виділень при зварюванні.

Література

1 Метан – топливо века!
www.neoplan.ru/neys/ Metan - 16.05.2012

2 Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И.Акулов, Г.А.Бельчук, В.П.Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

3 Патон Б.Е. Технология электрической сварки плавлением / Б.Е.Патон. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.

4 Белов С.В. Безопасность производственных процессов: справочник / С.В.Белов. – М.: Машиностроение, 1985. – 448 с.

5 Вплив активуючого флюсу на технологічні показники орбітального аргондугового зварювання / [Савицький М.М., Савицький О.М., Ващенко В.М. та ін.] // Збірник наукових статей ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України. – 2012. – С. 354 - 358.

6 J. Niagaj, M.M. Savytckyj, O.M. Savytckyj
The influence of activation on technological and ecological properties of welding arc under argon shield during welding of low - and high alloy steels. Biuletyn instytutu spawalnictwa w gliwicach., №1, 2008, p.46-50.

7 ГОСТ 5264-80 Ручная дуговая сварка. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

8 ГОСТ 14771-76 Дуговая сварка в защитных газах. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

9 ГОСТ 8713-79 Сварка под флюсом. Соединения сварные. Основные типы, конструктивные элементы и размеры.

10 Акулов А.И. Технология и оборудование сварки плавлением / А.И. Акулов, Г.А. Бельчук, В.П. Демянцевич. – М.: Машиностроение, 1977. – 432 с.

11 Фрумин И.И. Наплавочные материалы стран – членов СЭВ: Каталог / И.И.Фрумин, В.Б.Еремеев. – Киев–Москва: Международный центр по проблеме «Сварка» – Координационный центр стран – членов СЭВ, 1981. – 620 с.

12 Походня И.К. Сварочные материалы стран – членов СЭВ. Каталог. – Киев–Москва.: Международный центр по проблеме «Сварка» – Координационный центр стран – членов СЭВ, 1981. – 512 с.

13 Нормирование расхода покрытых электродов при ручной дуговой сварке и наплавке: справочное пособие. – Киев: Экотехнология, 2008. – 68 с.

14 Нормирование расхода сварочных материалов при сварке в углекислом газе и его смесях: справочное пособие. – Киев: Экотехнология, 2008. – 68 с.

15 Нормирование расхода сварочных материалов при сварке под флюсом: справочное пособие. – Киев: Экотехнология, 2008. – 68 с.

16 Дудко Д.А. Сварка плавящимся электродом в защитных газах с применением активирующего флюса / Д.А. Дудко, А.М. Савицкий, М.М. Савицкий // Автоматическая сварка. – 1996. – № 10. – С. 54 - 55.

Стаття надійшла до редакційної колегії
09.01.14

Рекомендована до друку
професором **Семчуком Я.М.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук **Яковлєвим Є.О.**
(Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України,
м. Київ)