

УДК 621.793

©Дерябкіна Є.С., Герасименко Д.В.

## ОПТИМІЗАЦІЯ ДІАМЕТРА ЕЛЕКТРОДУ ПРИ БАГАТОДУГОВОМУ ЗВАРЮВАННІ ПІД ФЛЮСОМ

### 1. Стан питання

При багато дуговому зварюванні під флюсом використовують електродний дріт діаметром 3-5 мм при струмах 500-2000 А. Меншим струмам, як правило, відповідають менші діаметри електродів і навпаки. Найбільше розповсюдження отримав дріт Ø4 мм. Докладні літературні дані, які обґрунтовують вибір оптимального діаметра електродного дроту для багато дугових процесів, вельми обмежені.

Відомо, що діаметр електродного дроту може суттєво впливати на процес зварювання, оскільки він визначає щільність струму, що проходить крізь електрод і зварювальну дугу, тиск стовпа дуги на зварювальну ванну, коефіцієнт плавлення електродного дроту, характер перенесення електродного металу, конфігурацію і рухливість зварювальної дуги. В умовах багато дугового зварювання ступінь і характер цього впливу залежить як від самого процесу, зокрема від електродної взаємодії дуг і форми поверхні зварювальної ванни.

### 2. Мета досліджень

Метою роботи є визначення впливу діаметра електроду (3-5 мм) при багатодуговому зварюванні на формування і розміри зварних швів, продуктивність процесу зварювання і витрати зварювального дроту.

### 3. Методика досліджень

За основу для проведення досліджень прийнято останній варіант комбінованого 3-дугового процесу, який використовується у ТЕСЦ-2 ВАТ «ХТЗ» для зварювання зовнішніх швів труб. Відповідно цьому варіанту процесу передня дуга живиться постійним, а останні – змінними струмами, які зсунуті по фазі на  $90^0$ , причому потенціал дуги 2 є випереджаючим. З урахуванням типорозміру труб, що виготовляються у цеху, досліди виконували з використанням електродного дроту діаметром 3,2-4,0-5,0 мм.

Трьохдугове зварювання труб для досліджень виконували під флюсом АН-60 на режимах, які відповідають технологічній інструкції [1]. У ході роботи оцінювали стабільність процесу зварювання, якість формування і розміри поперечного січення швів, довжину кратерних ділянок, а також витрати зварювального дроту.

Критерієм оцінки якості швів були діючі технічні умови ТУ У 14-8-16-99 [2], відповідно яким ширина посилення швів повинна бути у межах  $(25\pm 5)$  мм, а вишина посилення – у межах від 0,5 до 3,0 мм. Як показує виробничий досвід, для труб з товщиною стінки від 12 мм і вище ширина шва повинна бути не менш 22 мм. У протилежному випадку

виконання по висині посилення шва і плавності його переходу до основного металу викликає значні труднощі, враховуючи збільшення небезпеки утворення підрізів. Для труб з товщиною стінки 12-18 мм оптимальною є ширина шва – 24-26 мм.

До виконання вказаних наплавлень були досліджені деякі технологічні особливості використання електродів різного діаметра в умовах однодугового зварювання. Швидкість подачі електродного дроту й продуктивність наплавлення залежно від зварювального струму й діаметра електрода визначали при наступних умовах: джерело живлення - трансформатор ТДФЖ-2002, нахил електрода до вертикалі кутом уперед  $16^\circ$ , виліт електрода по вертикалі 37-40 мм.

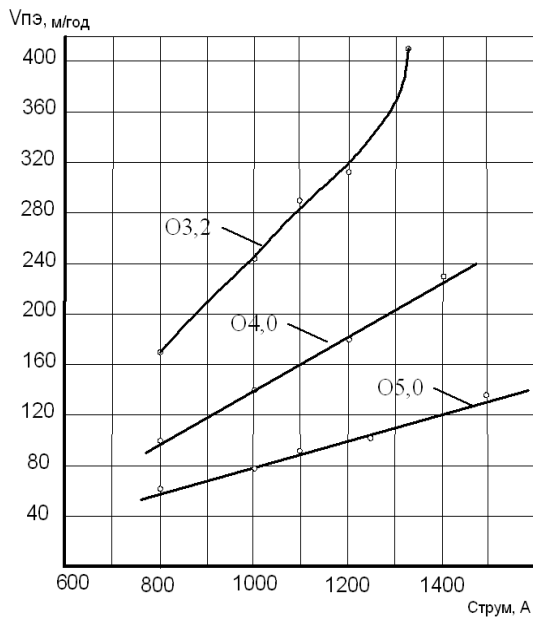
#### 4. Результати досліджень

**Однодугове зварювання.** При однаковій напрузі дуги  $U_d$  для електродів різного діаметра показання вольтметра  $U_{\text{сум}}$  будуть відрізнятися в основному за рахунок спадання напруги на вильоті  $U_v$ . Як показує розрахунок, при зварювальному струмі 1000 А спадання напруги на вильоті 40 мм для електродів діаметром 3,2, 4 і 5 мм становить 3-4, 2-3 і 1-2 В відповідно.

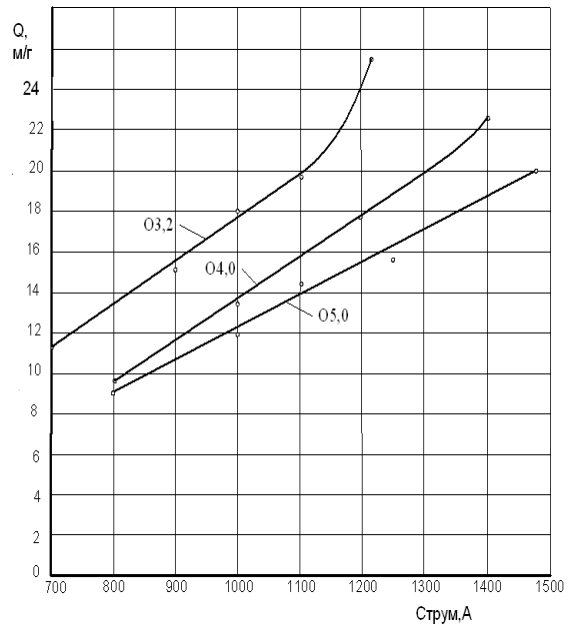
Це означає що при однакових показаннях вольтметра й зварювальному струмі 1000 А фактична напруга на дугах для наведених діаметрів електродів буде відрізнятися на 1-3 В. Тому за інших рівних умов ( $U_d$ ,  $I_{\text{св}}$ ) зі зміною діаметра електрода напруга  $U_{\text{сум}}$  повинна встановлюватися так, щоб для електрода меншого діаметра показання вольтметра було відповідно вище й навпаки. Таку різницю дугових напруг необхідно враховувати при газоелектричному зварюванні, наприклад, складальних швів, а також в умовах зварювання під флюсом при струмах вище 800-900 А.

Дослідження впливу діаметра електродного дроту на швидкість його подачі і продуктивність наплавлення показали (рис. 1), що в розглянутому діапазоні струмів 800-1500 А для електродів діаметром 4,0 й 5,0 мм, а також у діапазоні 800-1100 А для електрода діаметром 3,2 мм зазначені залежності близькі до пропорційного. Відхилення від пропорційної залежності у випадку застосування електрода  $\varnothing 3,2$  мм при струмах понад 1100 А свідчить про перевищення припустимого струмового навантаження. Орієнтовно можна прийняти, що при однодуговому зварюванні під флюсом максимальний струм для електрода  $\varnothing 3,2$  й  $\varnothing 4,0$  мм дорівнює відповідно 1000 й 1500 А. Зі збільшенням вильоту електрода й/або в умовах багатодугового зварювання, коли виліт електрода одержує додаткове тепло від сусідніх дуг, припустиме струмове навантаження на електрод повинне знижуватися. Відповідно до таблиці 1 зазначені обмеження склали 800 й 1100 А, відповідно, що може бути зв'язано, крім іншого, з необхідністю зниження струмового навантаження при зварюванні під керамічним флюсом.

Як і слід було сподіватися, зі зменшенням діаметра електрода продуктивність наплавлення росте (рис. 2). У нашому прикладі для електродів діаметром 5,0-4,0-3,2 мм вона складала 12,0-13,7-17,7 кг на 1000 А в годину. Відзначимо, що для умов трубного виробництва надлишок наплавленого металу, як правило, небажаний через обмеження по висоті посилення шва й вимоги до плавного переходу від посилення шва до основного металу.



**Рис. 1** – Залежність швидкості подачі електродного дроту від зварювального струму



**Рис. 2** – Залежність продуктивності наплавлення від зварювального струму

Зі збільшенням діаметра електроду збудження дуги і стабільність процесу зварювання погіршуються. У найбільшій мірі це відноситься до електроду Ø5,0 мм. Відомо, наприклад, як погано взбуджується дуга на електроді Ø5,0 при живленні від трансформатора СТ -2000 з крутопадаючою зовнішньою характеристикою (малий струм  $I_{кз}$ ), особливо, якщо електрод розташовано похилено, а дугова напруга менше 45 В. Все це повинно бути враховано при дослідженні багатодугових процесів.

**Трьохдугове зварювання.** Змінювали діаметр електрода на першій дузі, а на інших дугах застосовували електроди діаметром 4 мм.

Шов, зварений на режимі по технологічній інструкції [1] з використанням на першій дузі електрода Ø5 мм. мав відмінне формування. При тім же проварі, що й при електроді Ø4,0, він був трохи вужче й вище, а його края більше рівними без підрізів. Застосування на першій дузі електрода Ø3,2 мм забезпечило задовільне формування шва, але уступає швам при електроді Ø4,0 і Ø5,0 мм лише в частині обмеженої ширини шва (20 мм). При цьому, як й очікувалося, помітно (на 2 мм) збільшився провар. Співвідношення витрат зварювального дроту на першій дузі для електродів діаметром 3,2-4,0-5,0 мм склало відповідно 1,37:1,00:0,99. Настільки більша різниця в зазначених витратах, а також "запас" по провару дозволяє зменшити струм на електроді Ø3,2 мм, одночасно знижуючи кількість наплавленого металу (див. нижче шов 32). Як показали виміри, для електрода Ø3,2 мм відношення швидкості подачі дроту до зварювального струму (м/год. на 1 А) зростає від 0,23-0,25 при  $I=600-700$  А до 0,30-0,31 при  $I=1000-1200$  А ( $U_d=37-40$  В).

Слід зазначити, шви, що зварюють фактично на однакових режимах, помітно розрізнялися по довжині кратера (310-415 мм). Більшому діаметру першого електрода відповідала менша довжина кратера. Це пояснюється зниженням тиску передньої дуги зі збільшенням діаметра електрода (за інших рівних умов) і відповідно меншим відтискуванням назад рідкого металу зварювальної ванни. При цьому для електрода Ø5 мм

висота й ширина шва в зоні кратера практично не відрізнялися від іншої його частини, що при зварюванні труб повинне сприяти скороченню величини обрізу.

Подальші серії наплавлень були присвячені оцінці технологічних можливостей застосування електрода Ø3,2 мм на першій дузі при послідовному зниженні струмів від 1200 до 500 А.

Зниження струму від 1190 А до 1020 А виявилось недостатнім. З урахуванням обмеженої ширини й невеликої хвилястості (нерівності країв) шов уступає контрольним швам, що зварені з використанням на першій дузі електродів Ø4 і Ø 5 мм.

При наступних наплавленнях на струмах від 900 А и менш електрод діаметром 3,2 мм показав позитивні результати. Особливо слід зазначити меншу довжину кратера (315 мм проти 415 мм) і висоту посилення швів, яка забезпечується цими процесами.

Таким чином, процеси із застосуванням на першій дузі електрода Ø3,2 мм і щодо невеликих струмів у діапазоні 500-900 А можуть бути використані для труб з товщиною стінки 6-13 мм при малій глибині оброблення або її відсутності, забезпечуючи якісне формування швів з малою висотою посилення і довжини кратера.

Збільшення зварювального струму(на 10-12 %) забезпечує стабільний процес зварювання і гарне формування швів при використанні на першій дузі електрода Ø5 мм. У посиленні шва спостерігається деякий надлишок металу (3,2 мм), оскільки даний режим вимагає оброблення крайок, у той час як у посиленні шва, звареного по обробленню, – навпаки, недолік (1,4 мм). В останньому випадку недолік металу може бути легко усунутий невеликим коректуванням режиму, наприклад зниженням швидкості зварювання.

Шви, зварені з використанням на першій дузі електрода Ø4 мм, забезпечують трохи більший провар, але уступають попереднім по якості формування (нерівні краї, хвилястість, менш гладка поверхня посилення, звуження початкової ділянки шва).

Таким чином, застосування на першій дузі електрода діаметром 5 мм сприяє поліпшенню формування швів при зварюванні на потужних режимах. Крім того, при режимі горіння першої дуги 1380 А/34-36 В заміна електродного дроту діаметра 4,0 мм на дріт діаметром 5,0 мм дає на даній дузі економію електродного металу близько 8 %.

У зв'язку зі збільшенням потужності режимів при зварюванні труб з товщиною стінки від 18 мм і вище найбільш раціональним представлялося використання дроту Ø5 мм на всіх трьох дугах. При цьому спостерігали нестабільне горіння двох передніх дуг, причому після вимикання зварювання кінець другого електрода розташовувався нижче, ніж першого, а краї шва були хвилястими. Такі ознаки вказують на несприятливу взаємодію передніх дуг, що приводить зокрема до підтікання металу, що витісняється дугою 2, під дугу 1. Ослаблення тиску дуги 2 на зварювальну ванну можна досягти підвищенням на ній напруги або зниженням струму. Стабільність процесу трохи покращилася, краї шва стали більше рівними, а глибина провару збільшилася на 0,5 мм.

За результатами наплавлень, що виконувалися при струмі передньої дуги 1400 А й швидкості зварювання 115-120 м/год. стало очевидним, що для істотного поліпшення якості процесу необхідно знизити швидкість зварювання або зменшити струм першої дуги. Виконувався шов по V-образному обробленню розміром 60°x8 мм при зниженні швидкості

зварювання до 93,5 м/год. без зменшення струму  $I_1$ . Процес зварювання був дуже стабільним. При проварі 14,1 мм забезпечувалося відмінне формування шва (гладке низьке посилення, рівні краї). До недоліків формування шва можна віднести завищену ширину шва (30 мм). Однак, як відомо, зниження ширини шва, на відміну від його розширення, звичайно не викликає труднощів. Цього можна досягти, наприклад, зменшивши напругу дуг або струм останньої дуги. Формування шва на зниженому струмі до 1250 А і збільшеній швидкості до 139 м/г було гарним, однак уперше відзначена поява утяжин. Для їхнього усунення варто повернути швидкість на рівень 120-125 м/год.

Передумовою для випробування електродного дроту діаметром 5,0 мм на останній дузі, а на перших двох – діаметрам 4,0 мм було прагнення знизити висоту посилення шва за рахунок зменшення кількості електродного металу й деякого розширення шва. При цьому шов мав задовільне формування, однак уступав шву, який зварено діаметром 4 мм, по трьох показниках: 1) менша на 1-2 мм ширина, 2) звуження шва на початковій ділянці, 3) погане збудження нахиленої вперед останньої дуги, особливо при живленні від трансформатора СТ-2000. Зниження ширини шва пов'язане, очевидно, з різким зменшенням тиску останньої дуги при переході на більший діаметр електрода. На підставі отриманого результату варіант процесу з установкою електрода  $\varnothing 5$  мм на останній дузі був визнаний безперспективним.

Таким чином серед досліджених найбільш перспективними є дві групи процесів: I – із застосуванням на передній дузі електрода  $\varnothing 3,2$  мм, а на інших –  $\varnothing 4,0$  мм для труб товщиною менш 12 мм; II – із застосуванням на першій або першій і другій дугах електрода  $\varnothing 5,0$  мм, а на інших –  $\varnothing 4,0$  мм для труб товщиною більше 16-18 мм. Хоч ці процеси відпрацьовувалися при фазировці, що використовується для трьохдугового зварювання зовнішніх швів, вони можуть бути використовувані і для трьох дугового зварювання внутрішніх швів.

### Висновки

Найбільше оптимальним по використанню є електродний дріт діаметром 4 мм, що найкращим образом відповідає при багатодуговому зварюванні газонафтопровідних труб діапазону струмів від 800 до 1100-1200 А. Використання електродного дроту діаметром 3,0-3,2 мм з огляду її високого коефіцієнта розплавлення доцільно при струмах не більше 800-900 А. З урахуванням значної проплавляючої здатності електрода  $\varnothing 3,2$  мм його рекомендується встановлювати на першій дузі при зварюванні труб товщиною 6-12 мм у порівнянні з електродами  $\varnothing 4$  мм на окремих дугах.

Застосування дроту діаметром 5 мм на одній або двох передніх дугах при трьох- і чотирьохдуговому зварюванні на струмах 1100-1200 А найбільш ефективно при зварюванні труб з товщиною стінки 16-18 мм і більше. Процес характеризується стабільним формуванням шва, широким проплавленням, зменшенням довжини кратерної частини, більш економною витратою електродного дроту у порівнянні з електродом діаметром 4 мм.

### Список використаних джерел:

1. Технические условия ТУ14-3-1830-92. Трубы стальные электросварочные прямошовные экспандированные диаметром 1220 и 1420 мм.
2. Технологическая инструкция производства электросварных труб диаметром 1220 и 1420 мм в ТЭСЦ-2 : ТИ 247-ТР. ТС-018-93. – Харцызск: Харцызский трубный завод, 1993. – 161 с.
3. Коломенский В. К. Улучшение качества труб большого диаметра / В. К. Коломенский, Г. Ф. Стома. – К. : Техника, 1989. – 135 с.
4. Матвеев Ю. М. Технология производства сварных труб и экономия металла при редуцировании. / Ю. М. Матвеев. – К. : Техника, 1989. – 260 с.

*Дерябкина Є.С., Герасименко Д.В.* «Оптимізація діаметра електроду при багатодуговому зварюванні під флюсом».

Досліджено вплив діаметрів електроду на якість формування і розміри зварних швів, продуктивність процесу і витрати зварювального дроту при багатодуговому зварюванні під флюсом подовжніх швів труб. Встановлено що стабільне формування потрібних ширини і посилення шва забезпечується при зварюванні з пониженими тепловкладеннями та більш економними витратами зварювального дроту при заміні електроду діаметра 4 мм на 5 мм (при струмі 1100-1500 А) і 3,2 (при струмі 800-1100 А). Рекомендовані оптимальні діаметри електроду при зварюванні на струмах 800-1200 А труб з товщиною стінки від 6 мм до 18 мм і більше.

**Ключові слова:** багатодугове зварювання під флюсом, діаметр електроду, зварювальний струм, напруга на дузі, витрата дроту, розміри і формування шва.

*Дерябкина Е.С., Герасименко Д.В.* «Оптимизация диаметра электрода при многодуговой сварке под флюсом».

Исследовано влияние диаметров электрода на качество формирования и размеры сварных швов, производительность процесса и расход сварочной проволоки при многодуговой сварке под флюсом продольных швов труб. Установлено, что стабильное формирование нужных ширины и усиления шва обеспечивается при сварке с пониженным тепловложением и более экономными затратами сварочной проволоки при замене электрода диаметра 4 мм на 5 мм (при токе 1100-1500 А) и 3,2 (при токе 800-1100 А). Рекомендованы оптимальные диаметры электрода при сварке на токах 800-1200 А труб с толщиной стенки от 6 мм до 18 мм и более.

**Ключевые слова:** многодуговая сварка под флюсом, диаметр электрода, сварочный ток, напряжение дуги, расход проволоки, размеры и формирование шва.

*Deryabkina E.S., Gerasimenko D.V.* “Optimizing the diameter elektroda in multiple arc welding, submerged arc”.

The effect of the diameter of the electrode on the quality of the formation and size of welds , the performance of the process and expense of multiple arc welding wire for submerged arc welding of longitudinal seams of pipes. Found that stable formation of the desired weld width and gain is ensured when welding heat input with lower cost and more economical replacement for wire electrode diameter of 4 mm by 5 mm (current 1100-1500 A ) and 3.2 (at a current of 800-1100 A). The recommended optimal diameter of the electrode for welding currents at 800-1200 A pipe with a wall thickness of 6 mm to 18 mm or more.

**Key words:** multihead submerged arc welding, electrode diameter, the welding current, arc voltage, the wire rate, dimensions and forming a seam.

Стаття надійшла до редакції 29 жовтня 2013 р.