

10. Таран, Б. П. Расчет размеров модельного модуля с помощью размерных цепей / Б. П. Таран, Т. Л. Тринева, В. В. Малахов // Вестник НТУ «ХПИ». – 2005. – № 24 – С. 191 – 196.
11. Солнцев, А. А. Практика литья в кокиль чугуновых деталей / А. А. Солнцев, В. Д. Шифрин, А. С. Наджафов. – Харьков, 1990. – 112 с.
12. Структура и свойства композиционных материалов / Ред. К. И. Портной, С. Е. Салибеков, И. Л. Светлов, В. М. Чубаров. – М.: Машиностроение, 1979. – 256 с.
13. Demin, D. A. Optimization of the method of adjustment of chemical composition of flake graphite iron / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo – 1995 (7-8), pp. 42-43.
14. Demin, D. A. Complex alloying of grey cast iron / D. A. Demin, V. F. Pelikh, O. I. Ponomarenko // Litejnoe Proizvodstvo – 1998 (10), p. 18-19.
15. Demin, D.A. Change in cast iron's chemical composition in inoculation with a Si-V-Mn master alloy / D. A. Demin // Litejnoe Proizvodstvo – 1998 (6), p. 35.
16. Дьомін, Д. О. Деякі аспекти управління якістю чавуна з пластинчастим графітом : Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.16.04 / Д. О. Дьомін; [Харківський політехнічний інститут]. – Х., 1995. – 24 с.

Поступила в редакцію 23.10.2013

¹А. М. Жерносеков, канд. техн. наук

¹В. Н. Сидорец, д-р техн. наук

¹В. В. Приходько

¹Институт электросварки
им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев,
Украина

e-mail: maximan23@i.ua

Ключові слова: зварювання, дуга,
розбризування, сталь, імпульс, регулювання.

УДК 621.791

ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ СВАРКЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Анотація. Показані результати досліджень процесу імпульсно-дугового зварювання плавким електродом конструкційних сталей, включаючи застосування порошкових дрітків. Показано, що застосування імпульсних технологій дозволяє значно зменшити розбризування металу. Встановлено, що використання джерел живлення з регульованою формою імпульсів зварювального струму підвищує ефективність процесів зварювання та наплавлення порошковими дротами, включаючи самозахисні.

Введение

В последнее десятилетие наметилась тенденция к расширению областей применения процесса импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в защитных газах (ИДСПЭ) для различных конструкционных сталей, в том числе изделий ответственного назначения, включая трубопроводный транспорт [1 – 4]. Это связано со многими преимуществами данного способа сварки: управляемый перенос электродного металла во всех пространственных положениях, небольшое разбрызгивание, высокие механические свойства металла швов. Разбрызгивание – один из главных показателей эффективности процесса сварки плавящимся электродом в защитных газах. Повышенный уровень потерь металла на разбрызгивание и угар приводит не только к перерасходу сварочной проволоки, но и засорению сопла сварочной горелки, ухудшению газовой защиты, налипанию брызг на изделие. Применение импульсных технологий дуговой сварки позволит эффективно решить ряд технологических вопросов.

Анализ исследований и публикаций

Известно, что разбрызгивание металла в защитных газах определяется составом смеси и средним током сварки [5, 6]. На рис. 1 [6] представлена зависимость разбрызгивания металла для сварки на постоянном токе в 100 % CO₂, на постоянном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO₂, а также на импульсном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO₂. Как видно из рис. 1, разбрызгивание металла при сварке в защитном газе 100 % CO₂ значительное и может достигать 10-11 %, причем максимум приходится на наиболее эффективные технологические режимы, когда производительность высокая, а сварочная ванна еще не перегрета большим сварочным током. В смеси газов 82 % Ar + 18 % CO₂ разбрызгивание снижается до максимального уровня 5,5...6,5 %. Однако нелинейная зависимость от сварочного тока по-прежнему сохраняется. При ИДСПЭ процент разбрызгивания не зависит от сварочного тока и не превышает 1,5...2 % для сплошных проволок. Таким образом, ИДСПЭ конструкционных сталей является весьма перспективным способом сварки.

В институте электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ИЭС им. Е. О. Патона) проводились исследования [7] по влиянию параметров процесса ИДСПЭ на уровень выгорания легирующих

элементов и механические свойства низколегированных сталей. Установлено, что высокий уровень механических свойств металла швов обеспечивается за счет благоприятной структуры металла с преобладанием игольчатого феррита. Такая микроструктурная составляющая формируется благодаря незначительному окислению легирующих элементов, пониженной концентрации кислорода в шве и обусловленному этим пониженному содержанию неметаллических оксидных включений. Опыт применения порошковых проволок, включая самозащитные, при импульсно-дуговой сварке невелик. Но он свидетельствует, что порошковые проволоки позволяют получить важные преимущества по сравнению со сплошной проволокой. Более широкая дуга увеличивает количество подводимого тепла к боковым стенкам соединения, чем обеспечивается лучшее сплавление, повышается глубина проплавления.

Также становится возможным формировать гладкое, вогнутое усиление шва на обратной стороне сварного соединения, что не требует дальнейшей зачистки и шлифовки. При этом достигаются хорошие механические свойства сварных соединений, в том числе ударной вязкости при отрицательных температурах.

Необходимо отметить, что имеющиеся на рынке синергетические источники питания для импульсно-дуговой сварки содержат запрограммированные режимы, в том числе и для порошковых проволок. Однако такое оборудование не всегда может быть использовано при сварке различными видами порошковых проволок, особенно экспериментальными образцами, так как требует точной корректировки параметров импульсно-дугового процесса (базовое и амплитудное значения токов, длительность импульсов и их частоты). Предварительно запрограммированные параметры синергетического регулирования нельзя предусмотреть для сложных комбинаций типа проволоки, размера и вида защитного газа. Поэтому желательно иметь возможность плавной регулировки параметров импульса. В ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработано электросварочное оборудование для ИДСПЭ, которое реализует многоступенчатую регулируемую форму импульсов сварочного тока, где разделено тепловое и силовое влияние на каплю электродного металла, а также стабилизированы основные параметры процесса сварки в зависимости от вида свариваемого материала [8, 9].

ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины разработал и успешно внедрил серию установок для стыковой сварки труб оплавлением [10]. Однако современные трубопроводы требуют повышенных давлений и высоких механических характеристик металла сварных соединений. Поэтому перспективными являются дуговые или комбинированные технологии, например контактно-дуговые.

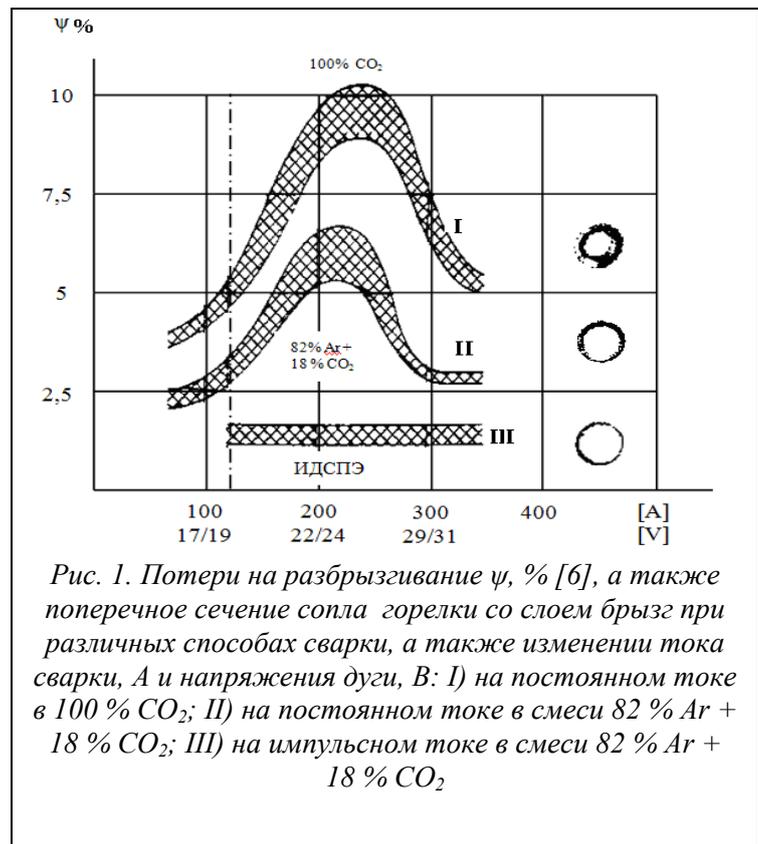
Цель и задачи исследования

Цель настоящей работы – исследование технологических возможностей процесса импульсно-дуговой сварки конструкционных сталей, включая применение порошковых проволок.

Экспериментальные данные и их обработка

Были проведены экспериментальные исследования по сварке трубной стали X60.

Корневой шов был выполнен контактной стыковой сваркой с последующим механическим удалением грата. Остальные швы выполнены процессом ИДСПЭ в смеси защитных газов 82 % Ar + 18 % CO₂. На рис. 2 и 3 представлены макрошлифы образцов.



Предложенный комбинированный подход может иметь перспективы при сварке трубопроводов большого диаметра и толщин, где корневым швом выполняется без магнитного дутья контактной сваркой, а все последующие слои – ИДСПЭ, причем, для сварки «горячего» прохода, следующего за корневым, может использоваться защитный газ $Ar + CO_2$ с добавлением гелия. Такой состав позволит увеличить глубину проплавления, даст хорошее сплавление с боковыми стенками. Кроме этого, уменьшаются работы по зачистке от графа.

Нами были проведены экспериментальные исследования импульсно-дуговой сварки и наплавки (источник питания с плавными регуляторами параметров импульсов сварочного тока) различными видами порошковых проволок, включая самозащитные. ИДСПЭ проволокой рутилового типа ПП-АН8 диаметром 2,2 мм проводилась в диапазоне номинальных токов сварки 150...300 А в активном газе 100 % CO_2 и в смеси газов 82 % $Ar+18\% CO_2$. При сварке в 100 % CO_2 для предотвращения режима интенсивного разбрызгивания параметры импульсного источника выбирались с минимальной амплитудой импульсов. В смеси газов 82 % $Ar+18\% CO_2$ параметры определялись из условия капельного переноса металла.

На рис. 4, а представлен внешний вид шва при ИДСПЭ в 100 % CO_2 при среднем токе сварки 250...260 А; напряжении на дуге 28...29,5 В, частоте импульсов 210 Гц и длительности импульсов 3,3 мс. На рис. 4,б представлен внешний вид шва при ИДСПЭ в смеси 82 % $Ar + 18\% CO_2$, ток сварки 290...300 А; напряжение на дуге 29,5...30 В, частота импульсов 200 Гц; длительность импульсов 3,8 мс. Последний режим позволяет получать мелкокапельный перенос металла с небольшим разбрызгиванием (до 2 %) и хорошим формированием металла швов.

На рис. 5 приведен внешний вид металла швов по наплавке экспериментальной порошковой проволокой от источника постоянного тока в смеси 82% $Ar + 18\% CO_2$ и от импульсного источника. Проводились также эксперименты с использованием самозащитной карбонатно-флюоритной проволоки ПП-АН7 диаметром 2,4 мм (рис. 6). Необходимо отметить низкий уровень разбрызгивания и снижение тока сварки до 100...120 А при использовании импульсного процесса (длительность импульсов 3,2 мс, частота импульсов 72 Гц).

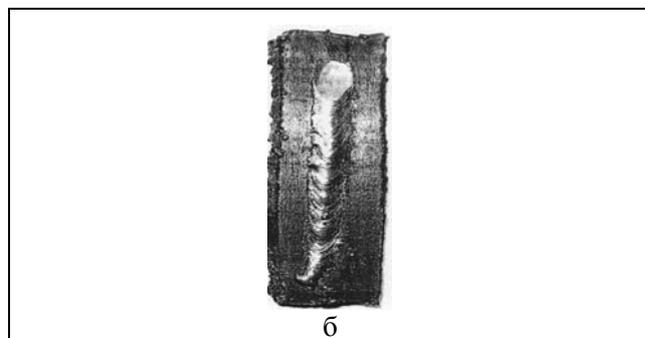
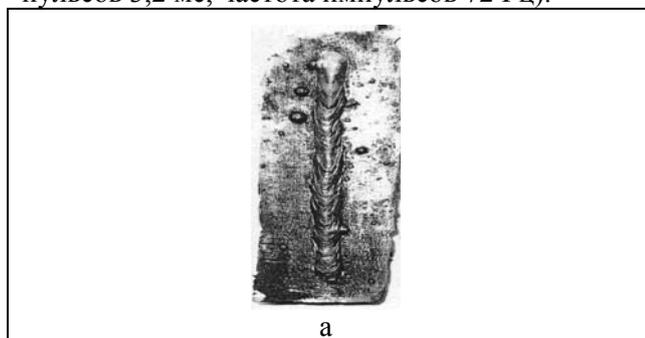


Рис. 5. Швы, выполненные ИДСПЭ (наплавка) диаметр проволоки 2 мм, в смеси 82% $Ar + 18\% CO_2$, скорость наплавки 20 м/ч (5,56 мм/с): а - выпрямитель ВДУ-506, ток сварки 220...230 А; напряжение на дуге 22...24 В; б – импульсный источник с регулируемой формой импульса; ток сварки 230А; напряжение на дуге 24...24,5 В, частота импульсов 74 Гц; длительность импульсов 3,0 мс



Рис. 2. Макрошлиф корневого шва стали X60 после контактной сварки

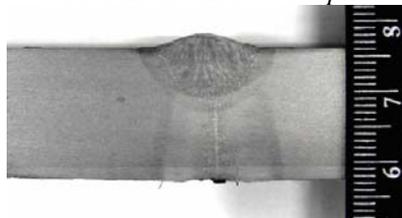


Рис. 3. Макрошлиф шва стали X60 после контактной сварки корня шва с последующей двухпроходной сваркой ИДСПЭ проволокой Sv-08Г2С диаметром 2 мм в смеси 82 % $Ar + 18\% CO_2$.

Параметры ИДСПЭ: средний ток сварки 330...340 А, длительность импульсов 3,4 мс; напряжение дуги (задания) $28 \pm 0,2 В$

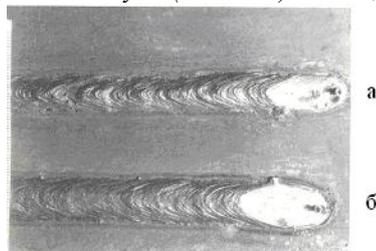


Рис. 4. Швы, выполненные ИДСПЭ (наплавка) проволокой ПП-АН8 диаметром 2,2 мм: а - в газе 100 % CO_2 ; б - в смеси газов 82 % $Ar+18\% CO_2$



Рис. 6. Шов, наплавленный самозащитной проволокой ПП-АН7 диаметром 2,4 мм в режиме ИДСПЭ

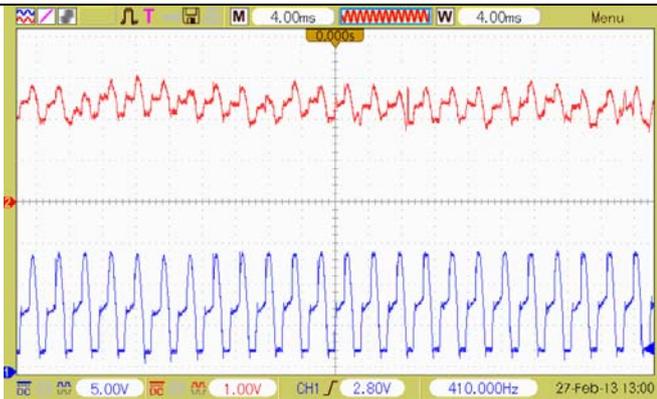


Рис. 7. Осциллограмма напряжения на дуге (вверху) и сварочного тока (внизу) при ИДСПЭ (наплавка) на пластины из стали Ст.3 самозащитной проволокой H210 У-Н диаметром 2 мм

Исследовались также режимы ИДСПЭ (двухуровневый импульс) самозащитной порошковой проволокой H210 У-Н диаметром 2 мм в диапазоне средних значений сварочного тока 180-300 А. Процесс протекал устойчиво, с незначительным разбрызгиванием металла. На рис. 7 представлена осциллограмма процесса при наплавке порошковой проволокой H210 У-Н диаметром 2 мм на токе 280 А (длительность импульсов 2,4 мс, частота 295 Гц).

Выводы

1. Применение импульсных дуговых технологий при сварке конструкционных сталей плавящимся электродом позволяет значительно уменьшить разбрызгивание металла.
2. Перспективно применение при сварке высокопрочных трубных сталей импульсно-дуговых процессов с различным составом защитной газовой среды.
3. Использование источников питания с регулируемой формой импульсов сварочного тока, где разделено тепловое и силовое воздействие на каплю электродного металла, позволяет повысить эффективность процессов сварки и наплавки порошковыми проволоками, включая самозащитные.

Литература

1. Автоматизированная сварка трубопроводов // Автоматическая сварка. – 2005. – № 1. – С. 52-56.
2. Виджери, Д. Дж. Механизированная сварка трубопроводов / Д. Дж. Виджери // Svetsaren. – 2005. – Т. 60, № 1. – С. 22-25.
3. Qualifizierung des MAG-Impulsschweißverfahrens für den Pipelinebau / U. Reisinger, L. Stein, G. Buchholz, K. Willms, G. Neukirchner, U. Giebelstein // Schweißen und Schneiden. – 2009. – 61. – Heft 3. – P. 136-141.
4. Goecke, S. Tandem MIG/MAG Welding / S. Goecke, J. Xedegard, M. Lundin, H. Kaufmann // Svetsaren. – 2001. – V.56, № 2-3. – P. 24-28.
5. Потапьевский, А. Г. Сварка в защитных газах плавящимся электродом / А. Г. Потапьевский. – М.: Машиностроение, 1974. – 240 с.
6. Killing, R. Schutzgase zum Lichtbogenschweißen – Schweißtechnische Eigenschaften / R. Killing // Der Praktiker. – 1993. – Vol. 45. – Heft 8. – P. 448-455.
7. Римский, С. Т. Импульсно-дуговая сварка низколегированных сталей плавящимся электродом в смеси аргона с углекислым газом / С. Т. Римский, В. Г. Свечинский, П. П. Шейко, В. М. Павшук, А. М. Жерносеков // Автоматическая сварка. – 1993. – №2. – С. 38-41.
8. Шейко, П. П. Источник питания для импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом с плавным регулированием параметров / П. П. Шейко, В. М. Павшук // Автоматическая сварка. – 1992. – № 6. – С. 44-46.
9. Шейко, П. П. Импульсно-дуговая сварка плавящимся электродом с автоматической стабилизацией параметров режимов / П. П. Шейко, А. М. Жерносеков, Ю. О. Шимановский // Автомат. сварка. – 2004. – №1. – С. 8-11.
10. Контактная стыковая сварка оплавлением толстостенных труб из высокопрочных сталей класса прочности K56 [Электронный ресурс] / С. И. Кучук-Яценко, Ю. В. Швец, В. Ф. Загадарчук, В. И. Швец, В. И. Хоменко. С. И. Журавлев, А. Я. Сударкин, В. Л. Коликов, С. А. Хомиченко. – Режим доступа: <http://www.kzeso.com/ru/biblioteque/detail.php? ID=7792>.

Поступила в редакцию 01.10.2013