

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

<sup>1</sup>А. М. Жерносеков, канд. техн. наук

<sup>1</sup>В. Н. Сидорец, д-р техн. наук

<sup>1</sup>В. В. Приходько

<sup>1</sup>Институт электросварки  
им. Е.О. Патона НАН Украины, Киев,  
Украина

e-mail: [maximan23@i.ua](mailto: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 дротів. 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 % CO<sub>2</sub>, на постоянном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>, а также на импульсном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>. Как видно из рис. 1, разбрызгивание металла при сварке в защитном газе 100 % CO<sub>2</sub> 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 % CO<sub>2</sub> 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 % CO<sub>2</sub>. На рис. 2 и 3 представлены макрошлифы образцов.

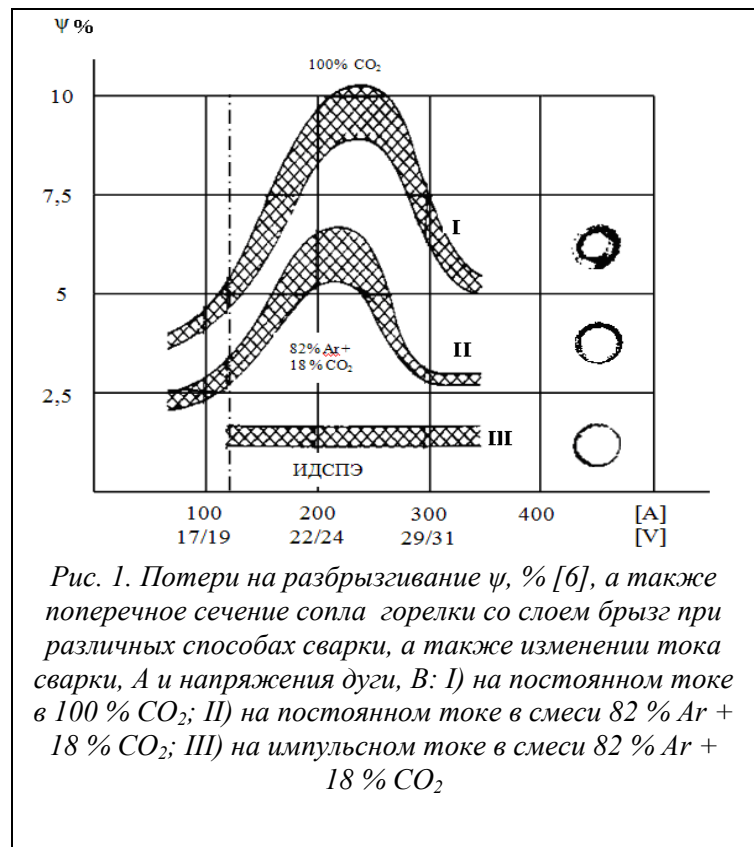


Рис. 1. Потери на разбрызгивание  $\psi$ , % [6], а также поперечное сечение сопла горелки со слоем брызг при различных способах сварки, а также изменении тока сварки,  $A$  и напряжения дуги,  $B$ : I) на постоянном токе в 100 % CO<sub>2</sub>; II) на постоянном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>; III) на импульсном токе в смеси 82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>

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).

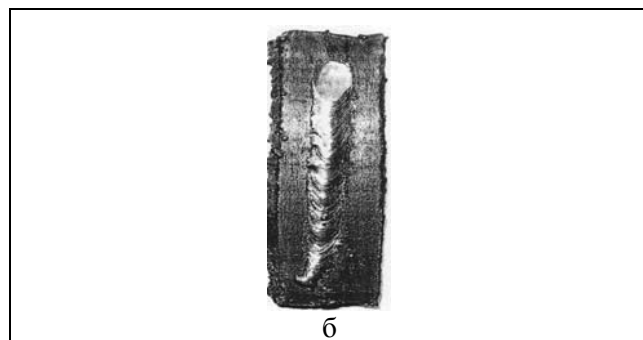
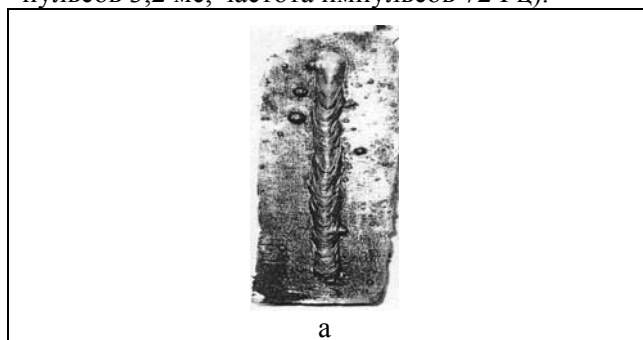


Рис. 5. Швы, выполненные ИДСПЭ (наплавка) диаметр проволоки 2 мм, в смеси 82%  $Ar + 18\% CO_2$ , скорость наплавки 20 м/ч (5,56 мм/с): а - выпрямитель ВДУ-506, ток сварки 220...230 А; напряжение на дуге 22...24 В; б – импульсный источник с регулируемой формой импульса; ток сварки 230А; напряжение на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



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

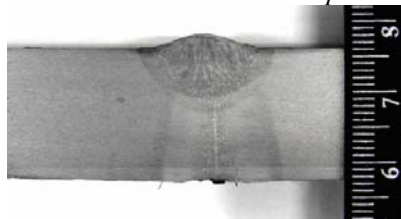


Рис. 3. Макрошлиф шва стали X60 после контактной сварки корня шва с последующей двухпроходной сваркой ИДСПЭ проволокой Sv-08Г2С диаметром 2 мм в смеси 82 %  $Ar + 18\% CO_2$ .

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

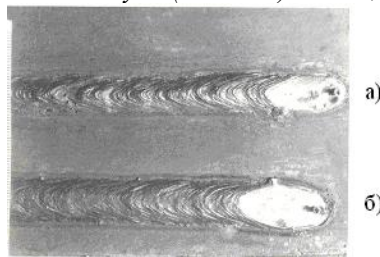


Рис. 4. Швы, выполненные ИДСПЭ (наплавка) проволокой ПП-АН8 диаметром 2,2 мм: а - в газе 100 %  $CO_2$ ; б - в смеси газов 82 %  $Ar+18\% CO_2$



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

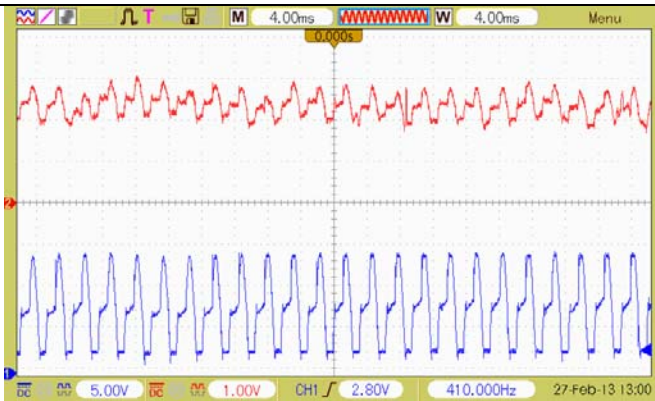


Рис. 7. Осциллограмма напряжения на дуге (вверху) и сварочного тока (внизу) при ИДСПЭ (наплавка) на пластины из стали Ст.3 самозащитной проволокой H210 У-Н диаметром 2 мм

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. Импульснодуговая 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