



## ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ СВАРКИ ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ В ЗАЩИТНЫХ ГАЗАХ

**М. В. КАРАСЕВ**, д-р техн. наук, **Е. М. ВЫШЕМИРСКИЙ**, **В. И. БЕСПАЛОВ**, **Д. Н. РАБОТИНСКИЙ**,  
**И. М. ЗАХАРОВ**, **А. Е. БЕЛЯЕВ**, инженеры (ЗАО НПФ «ИТС», г. С.-Петербург, РФ),  
**Г. В. ПАВЛЕНКО**, ген. директор, **В. В. СОЛЯНИК**, инж.  
(ОАО Электромашиностроительный завод фирма «СЭЛМА», г. Симферополь)

Описаны современные виды и особенности применения новых технологий механизированной сварки с использованием проволок сплошного сечения (малого диаметра) и порошковых проволок. Показана важность учета динамических свойств сварочных источников при анализе и сравнении сварочных установок для механизированной сварки.

*Ключевые слова:* дуговая механизированная сварка, новые технологии, установки, сравнительный анализ, проволоки сплошного сечения, порошковые проволоки, сварочные источники, динамические характеристики

В сварочном производстве России и других стран в последние пять лет широкое применение находят процессы полуавтоматической сварки. В современном сварочном производстве (машиностроение, судостроение, нефтегазовый сектор промышленности) доля полуавтоматической сварки проволоками сплошного сечения и порошковыми, включая самозащитные, достигает 75...85 % [1].

Следует отметить, что идет не просто более широкое применение известного процесса, а широкое внедрение новых технологий в рамках существующего на предприятиях старого и нового оборудования. Основной задачей внедрения новых технологий является повышение производительности труда и качества сварных соединений. В отраслевых учебных центрах активно ведется работа по подготовке сварщиков.

К числу новых технологий, несомненно, следует отнести широко применяемые в нефтегазовом секторе: способ сварки самозащитной проволокой заполняющих и облицовочных слоев шва неповоротных стыков трубопроводов (обеспечивается повышение производительности не менее, чем в 1,4 раза по сравнению с процессом ручной дуговой сварки по данным ВНИИСТ); способ сварки с формированием обратного валика на весу проволокой сплошного сечения диаметром 1,2...1,6 мм в защитных газах во всех пространственных положениях [2] (обеспечивается повышение скорости выполнения корневого прохода не менее, чем в 2 раза по сравнению со сваркой электродами с основным покрытием, и не менее, чем на 50 % по сравнению со сваркой электродами с целлюлозным покрытием); способ подварки сварного соединения с обратной стороны (обеспечивается минимизация содержания диффузионного водорода в сварном шве (до 1,34 мл/100 г), что в 3 раза меньше, чем при сварке электродами с основным видом покрытия, и в 10

раз меньше по сравнению со сваркой электродами с целлюлозным видом покрытия); способ сварки порошковыми проволоками в защитных газах (обеспечивается по сравнению со сваркой проволоками сплошного сечения повышение ударной вязкости не менее, чем в 2 раза, и повышение производительности процесса не менее, чем в 1,8 раза по данным ПО «СЕВМАШ»); способ сварки с регулируемым короткими замыканиями при выполнении в зазор корневых проходов и сварке тонколистового металла [2], а также многие другие. В связи с развитием способа сварки ВКЗ (вынужденные короткие замыкания) [2] вновь значительный интерес появляется к использованию проволок сплошного сечения диаметром 1,6 мм (при этом обеспечивается увеличение скорости сварки с 25 м/ч проволокой диаметром 1,2 мм до 50 м/ч проволокой диаметром 1,6 мм во всех пространственных положениях при сохранении показателей качества сварного шва и разбрызгивании не более 3 %). Эти моменты достаточно полно отражены в работе [1].

Вместе с широким внедрением новых технологий, естественно, применяются и новые приемы техники механизированной сварки (выступление наконечника над плоскостью выходного сечения сопла [2], колебательные движения горелки вдоль, а не поперек сварного шва и перпендикулярно ему, сварка на спуск, а не традиционно на подъем и др.).

Такое широкое развитие новых технологий и приемов техники сварки в рамках известного способа механизированной сварки в защитных газах [3] требует более осознанного подхода к выбору сварочного оборудования. В работе [4] сделана попытка систематизировать сварочные выпрямители и механизмы подачи по областям применения, схемным решениям и сварочным свойствам.

Наиболее точно произвести анализ и сравнение свойств современных сварочных установок для механизированной сварки можно по типовым осциллограммам тока и напряжения на дуге при привязке их к стадиям каплепереноса электродного ме-

талла в сварочную ванну. При этом надо иметь в виду, что эти свойства должны различаться для сварки проволокой сплошного сечения и порошковыми.

Типичные формы кривых сварочного тока и напряжений при традиционной сварке в углекислом газе приведены на рис. 1, *а*, при сварке ВКЗ — на рис. 1, *б* и при STT-процессе — на рис. 1, *в*. Как видно из рисунка, основное отличие новых видов оборудования заключается в повышенных динамических свойствах сварочных источников. Характерное время короткого замыкания традиционных установок типа ВДУ-506, ВС-300 и др. (рис. 1, *а*) составляет 10...20 мс, для установок типа ДК (рис. 1, *б*) — метод ВКЗ — 5...7 мс, для установки Invertec STT II (рис. 1, *в*) — метод STT — 2...5 мс.

В традиционных установках (рис. 1, *а*) частота коротких замыканий составляет не более 30...50 Гц и значительно изменяется при сварке, так как в годы создания этих установок не стояла задача приоритетного развития сварочных процессов с регулируемыми короткими замыканиями. Разрыв перемычки между сварочной проволокой и ванной при завершении короткого замыкания происходит при близком к максимальному току дуги. Это соответственно приводит к значительному разбрызгиванию (более 5%), вызванному существенным воздействием электродинамических сил, хаотическому изменению размера капель электродного металла при сварке и к невозможности стабильно и в области широкого изменения режимных параметров управлять сварочным процессом.

В установках типа ДК (рис. 1, *б*) типичная осциллограмма по виду похожа на предыдущую, за исключением длительности и крутизны переднего и заднего фронтов линии тока дуги, особенно в области завершения короткого замыкания. Это приводит к качественным изменениям при сварке. Разрыв перемычки между сварочной проволокой и ванной происходит при значительно сниженном токе дуги (до 40...50 А), при этом резко снижается разбрызгивание электродного металла (до 3% и менее), частота коротких замыканий составляет 120...150 Гц (для ВД-506ДК-4) и 70...80 Гц (для ВД-306ДК), размер капель электродного металла стабилизируется и управляется изменением режимных параметров [4], процесс стабилен и легко управляемый. Применяется проволока диаметром 1,6 мм и менее.

В установках Invertec STT II (рис. 1, *в*) осциллограмма имеет существенные отличия от двух предыдущих. Разрыв перемычки между сварочной проволокой и ванной происходит при еще более сниженном по сравнению с предыдущей установкой сварочным током, разбрызгивание электродного металла составляет менее 2%, частота коротких замыканий — примерно 130...140 Гц, процесс стабилен и легко управляемый. Применяется проволока 1,2 мм и менее.

На установках двух последних типов уверенно производится сварка корневых и других слоев шва проволоками сплошного сечения в защитных газах. В работе [2] приведены основные технологические

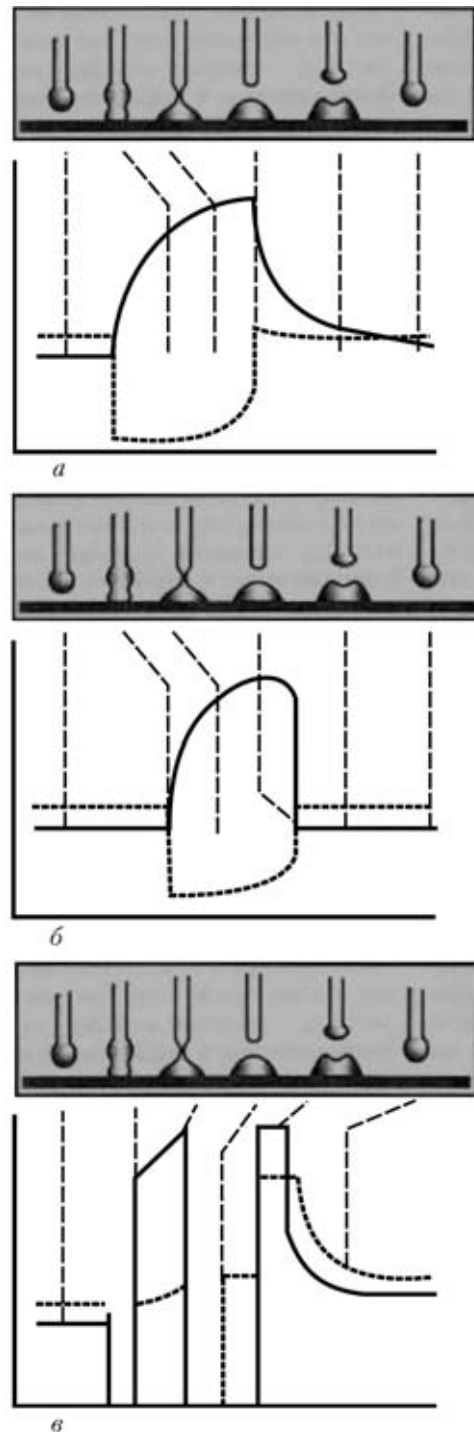


Рис. 1. Типичные формы кривых сварочного тока (жирная кривая) и напряжений (штриховая) при традиционной сварке в углекислом газе (*а*), при сварке ВКЗ (*б*) и при STT-процессе (*в*) (по данным Московского представительства Lincoln Electric Company)

отличия двух последних процессов и техника сварки корневых слоев шва проволокой сплошного сечения. Необходимо акцентировать внимание на различии в диаметрах применяемой проволоки и, как следствие, на различную линейную скорость сварки на установках последних типов.

Применение сварки в режиме коротких замыканий обеспечивает серьезное преимущество в обеспечении качества сварных соединений перед другими технологиями. На рис. 2 показан макрошлиф

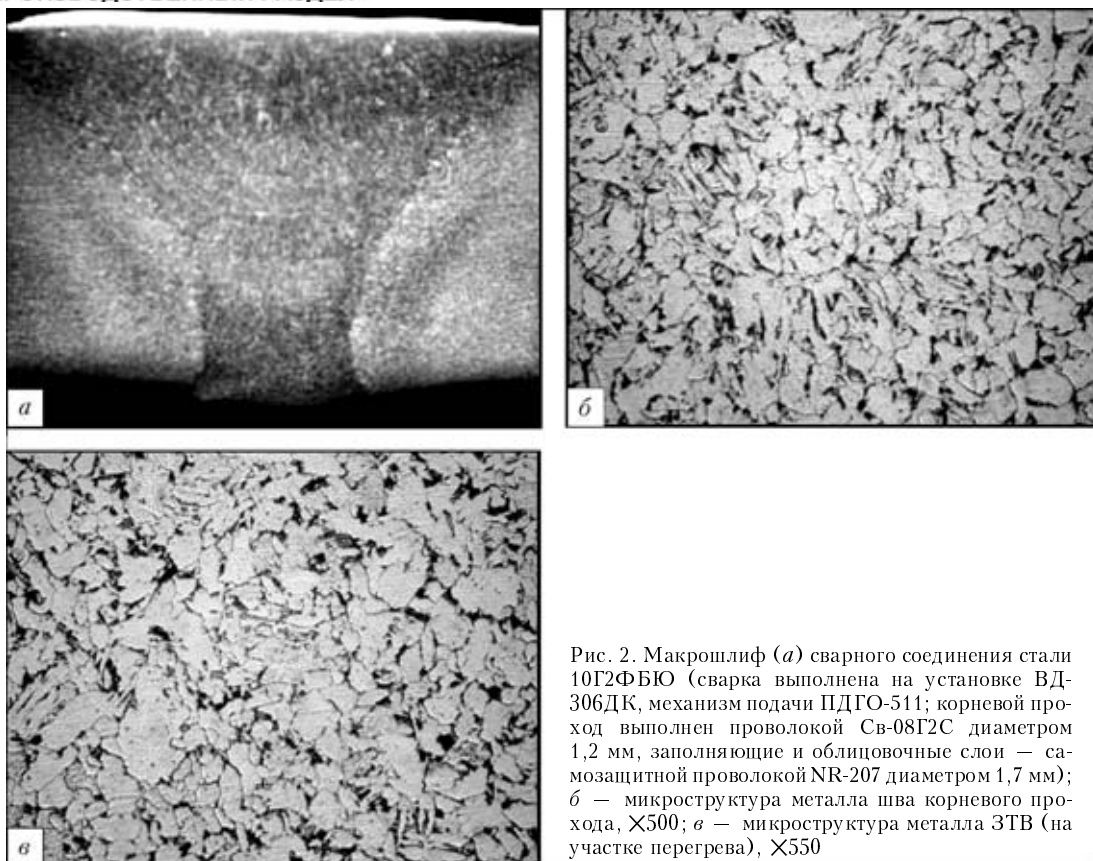


Рис. 2. Макрошлиф (а) сварного соединения стали 10Г2ФБЮ (сварка выполнена на установке ВД-306ДК, механизм подачи ПДГО-511; корневой проход выполнен проволокой Св-08Г2С диаметром 1,2 мм, заполняющие и облицовочные слои — самозащитной проволокой NR-207 диаметром 1,7 мм); б — микроструктура металла шва корневого прохода,  $\times 500$ ; в — микроструктура металла ЗТВ (на участке перегрева),  $\times 550$

сварного соединения с обратным валиком и микроструктура металла шва и ЗТВ.

Из анализа рис. 2 следует, что структура металла корня шва (рис. 2, б) близка к околошовной структуре металла в ЗТВ (рис. 2, в). Зона крупного зерна, которая, как правило, присутствует при сварке сталей такого класса практически не заметна. Это вызвано тем, что при коротком замыкании ток дуги снижается, что уменьшает тепловложение в свариваемое изделие. Основное преимущество от уменьшения тепловложения выражается в повышении уровня механических свойств изделия.

На сталях указанного типа достигаются следующие механические свойства:  $\sigma_b = 618...659$  МПа (требования 600 МПа по СП 105-34-96), угол загиба более  $120^\circ$ , ударная вязкость  $KCV$  при  $-20^\circ\text{C}$  равна  $76...142$  Дж/см<sup>2</sup>, в зависимости от расположения надреза — требования 34 Дж/см<sup>2</sup> по СП 105-34-96).

**Результаты спектрального анализа контрольного сварного образца**

Материал	Массовое содержание элементов, %					
	C	Ni	Mn	Cr	Ni	Ti
Сталь 12Х18Н10Т ГОСТ 5632-72	<0,12	<0,80	<2,00	17...19	8...9,5	0,5...0,8
Основной металл контрольного образца	0,11	0,73	1,65	17,1	8,87	0,74
Сварной шов	0,08	0,77	1,48	18,6	9,1	0,17

Способ сварки с короткими замыканиями дугового промежутка обеспечивает минимизацию выгорания легирующих элементов. При сварке нержавеющей сталей типа 18-10 на установке ВД-306ДК и механизме подачи ПДГО-510 получены следующие результаты:

сталь — 12Х18Н10Т, сварное соединение — стыковое, тип образца — XIII по ГОСТ 6996-66;  $\sigma_b = 590...610$  МПа, угол загиба более  $120^\circ$ . Твердость основного металла  $HV 204...210$ , твердость металла шва  $HV 212...218$ .



Рис. 3. Выпрямитель тиристорного типа ВД-506ДК

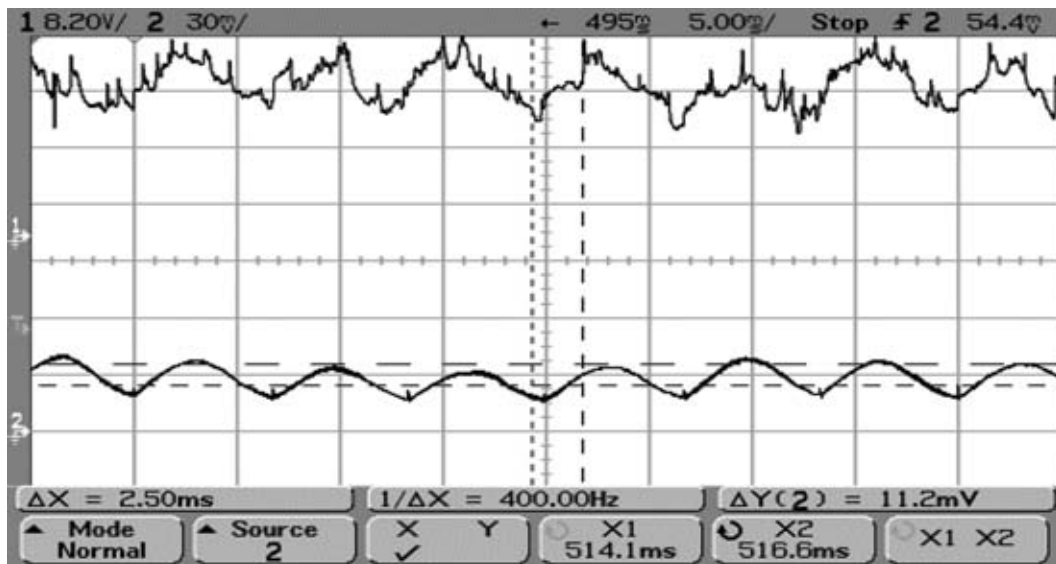


Рис. 4. Типичная осциллограмма сварки порошковой самозащитной проволокой типа NR-207 диаметром 1,7 мм на установке ВД-506ДК и механизме подачи ПДГО-511 (верхняя осциллограмма — напряжение на дуге, нижняя — ток дуги)

Результаты спектрального анализа контрольного сварного образца представлены в таблице.

При применении порошковых сварочных проволок требования к источникам существенно меняются. Это обусловлено тем, что при сварке порошковыми сварочными материалами, как и электродами с целлюлозным покрытием, возникновение коротких замыканий чаще всего ведет к появлению дефектов. Сварка в этом случае в отличие от сварки по методу ВКЗ или STT ведется «длинной» дугой. Другое отличие сварочных установок заключается в том, что длина дуги должна быть максимально стабильна, чтобы исключить неравномерное выгорание легирующих элементов. Это накладывает определенные ограничения на соотношение индуктивности дросселя и жесткости внешней вольт-амперной характеристики.

В последние годы в России при сварке порошковыми сварочными материалами наиболее часто применяют выпрямители тиристорного типа ВД-506ДК (рис. 3) («ИТС», г. С.-Петербург) и ДС-400 (ЛИНКОЛЬН, США). Они наиболее полно отвечают комплексу требований, предъявляемых к таким установкам. Возможность выпрямителей типа ДК эксплуатироваться как при сварке ВКЗ, так и при сварке порошковыми проволоками обусловлена тем, что имеется переключение видов внешних вольт-амперных характеристик. Объемы применения составляет более 5 тыс. штук каждого выпрямителя. На одном ПО «СЕВМАШ» эксплуатируется более тысячи комплексов ВД-506ДК с

механизмами подачи ПДГ-322М при сварке порошковыми проволоками. Как видно из рис. 4, процесс струйный, стабильный, кривые тока и напряжения повторяют сетевые пульсации, что отвечает техническим требованиям производителя сварочных материалов.

В заключение следует отметить, что за последние годы в России резко ускорился процесс внедрения новых сварочных технологий. Это определяет новые требования к применяемому сварочному оборудованию. Выше предпринята попытка анализа применимости серийно выпускаемого сварочного оборудования к требованиям новых технологических процессов и условиям использования новых сварочных материалов.

1. Анализ наиболее эффективного использования различных видов сварочного оборудования и сварочных материалов в производстве металлоконструкций / М. В. Карасев, С. В. Исаков, Д. Н. Работинский, А. В. Симонова // Сварка в Сибири. — 2002. — № 1, 2.
2. Новые разработки НПО «Сэлма-ИТС» в области дуговой сварки в защитных газах / М. В. Карасев, Д. Н. Работинский, Г. В. Павленко и др. // Автомат. сварка. — 2004. — № 5. — С. 40–46.
3. Сравнительный анализ сварочно-технологических свойств современных выпрямителей для сварки в защитных газах / М. В. Карасев, Д. Н. Работинский, Г. В. Павленко, К. А. Павлов // Сварка в Сибири. — 2003. — № 2. — С. 17–22.
4. Основные тенденции развития производства сварочного оборудования в объединении «СЭЛМА-ИТС» и его применение в России и странах СНГ / М. В. Карасев, Е. А. Копиленко, Г. В. Павленко и др. // Автомат. сварка. — 2002. — № 5. — С. 52–57.

Described are new methods and peculiarities of application of new technologies for mechanised solid (small diameter) and flux-cored wire welding. It is shown that allowance for the dynamic properties of welding power sources is important for analysis and comparison of mechanised welding units.

Поступила в редакцию 08.11.2004