

**ЮШИН**  
Алексей Александрович  
аспирант кафедры  
«Технологии сварки  
и диагностики»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

## Новый метод тестирования современного сварочного оборудования

**А.А. Юшин**

*Предложен новый метод оперативного тестирования сварочных свойств современного сварочного оборудования на основе анализа энергетических характеристик процесса сварки и выделения информативных частотных диапазонов в осциллограммах процесса сварки с дальнейшей статистической обработкой полученных результатов с использованием коэффициентов вариации, рассчитанных в различных частотных зонах для параметров режима сварки. Осуществлен анализ элементов контура «источник питания — дуга — сварочная ванна» с учетом их различной инерционности.*

**Ключевые слова:** тестирование сварочного оборудования, сварочные свойства, инверторные источники питания.

*This article describes a new method for prompt control of modern welding equipment on basis of analysis of welding energy characteristics. It was shown the analysis of loop elements such as power source — arc — weld pool in consideration of their different iterance. It was described the method for prompt control of modern welding equipment, which is based on allotment of informative frequency ranges at oscillograms of welding process. After these results underwent statistical treatment using coefficients of variation, which were calculated for welding parameters of different frequency ranges.*

**Keywords:** testing of welding equipment, welding characteristics, inverter power source.

**П**овышение сложности выпускаемой на машиностроительных предприятиях продукции ставит перед производителями сварочного оборудования (СО) все более сложные задачи и требует разработки новых методов сварки, позволяющих повысить скорость и качество выполнения сварочных работ. Разработчики СО представляют на российском и мировом рынках новейшие сварочные установки, реализующие различные способы сварки. Одно из направлений развития современного СО — реализация в них различных алгоритмов управления переносом электродного металла при сварке плавящимся электродом в защитных газах (например, алгоритмы СМТ (Fronius, Австрия), STT (Lincoln Electric, США), ColdArc (EWM, Германия), УКП (Технотрон, Россия), ВКЗ (ИТС, Россия)) и т. д. Данные сварочные процессы находят все большее применение в различных отраслях промышленности — от автомобилестроения до строительства магистральных трубопроводов нефти и газа.

Одновременно с распространением и широким применением СО с управляемым каплепереносом (УК) на предприятиях, выполняющих сварочные работы на опасных производственных объектах, возникает необходимость оценки сварочных свойств данного СО, т. е. его аттестации. Используемая в настоящее время экспертами методика аттестации (РД-03-614-03) может быть субъективной. Оценку сварочных свойств осуществляют в соответствии с ГОСТ 25616—83, который разрабатывался, когда в промышленности широко применяли источники питания, работающие на промышленной частоте 50 Гц, поэтому заложенная в нем методика не способна полностью оценить сварочные свойства современного СО, а также качество УК.

Основой сварочной установки, реализующей УК, служат быстродействующие инверторные источники питания. Главной особенностью УК всех видов является высокая скорость (частота каплепереноса достигает сотен герц), а это значит, что оборудование данного типа нельзя отнести ни к одной группе аппаратов с традиционными вольт-амперными характеристиками. Правильнее отнести его к оборудованию с высокоскоростным управлением сварочным током, напряжением сварки и скоростью подачи электродной проволоки, т. е. к оборудованию со специально оптимизированными характеристиками переноса электродного металла короткими замыканиями [1].

В России проводились и проводятся работы в направлении объективной оценки сварочных свойств СО [2—5], однако в основном речь идет только об их частичной оценке (например, об оценке устойчивости процесса по статическим и динамическим характеристикам или об оценке качества переноса электродного металла без привязки к качеству самого сварочного соединения). Поэтому автором была поставлена цель разработать комплексный метод оперативного и объективного тестирования сварочных свойств СО, реализующего УК. Прежде всего необходимо было разработать объективные оперативные критерии оценки сварочных свойств, позволяющие с высокой достоверностью делать выводы о качестве аттестуемого СО. В результате анализа существующих

современных сварочных процессов, современных подходов к оценке сварочных свойств СО, а также используемой методики аттестации СО были сформулированы следующие требования к критериям их оценки: обеспечение оперативной и объективной оценки статических и динамических свойств СО; необходимость анализа энергетических характеристик процесса сварки плавлением; обеспечение оценки сварочных свойств, указанных в ГОСТ 25616—83 (зажигание дуги, стабильность процесса, разбрызгивание металла, качество формирования сварного шва).

В основу предлагаемого метода заложен следующий подход: используя осциллограммы тока и напряжения при сварке, выделить в них отдельные частотные составляющие процесса, протекающие в контуре «источник питания — дуга — сварочная ванна», с учетом их различной инерционности (см. табл.) [6].

Таблица

Элемент или процесс	Инерционность, с
Инверторный источник питания	$10^{-5}—10^{-4}$
Процессы в столбе дуги	$\approx 10^{-5}$
Процессы в приэлектродных областях	$\approx 10^{-2}$
Гидродинамика сварочной ванны	$10^{-2}—10^{-1}$
Плавление электродного металла	$10^{-2}—10^{-1}$
Реакция сварщика-оператора	$\approx 10^{-1}$
Плавление и кристаллизация основного металла	$\approx 1$

В процессе сварки контрольно-сварного соединения (КСС) осциллограммы тока и напряжения дуги записывают с помощью осциллографа или специального регистратора сварочных параметров. При этом частота записи должна быть достаточной для последующей обработки полученных осциллограмм в диапазоне частот 0,1—5000,0 Гц с выделением с помощью фильтров информативных частотных диапазонов, указанных на рис. 1 [5].

*Первый диапазон (500—5000 Гц) (1) — высокочастотный, характеризует пространственную устойчивость дуги, т. е. движение анодного и катодного пятен. От пространственной устойчивости дуги зависит переход капли с поверхности электрода в сварочную ванну, что, в свою очередь, влияет на разбрызгивание*

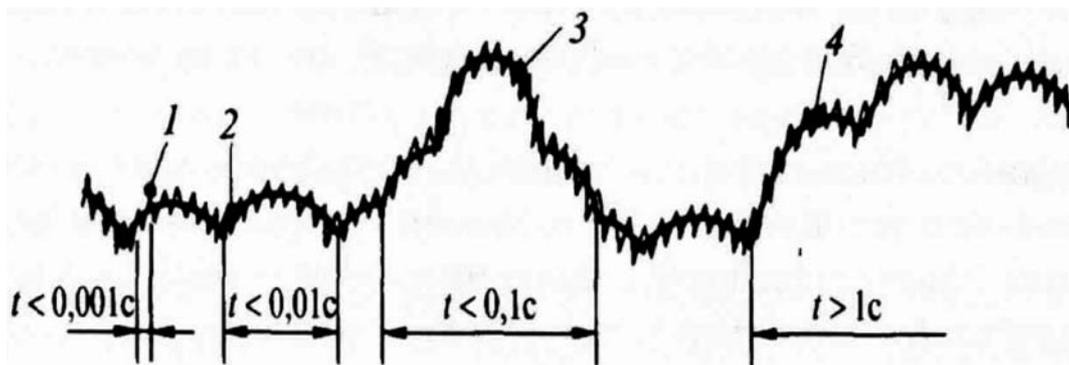


Рис. 1. Частотные диапазоны, которые анализируются при тестировании сварочных свойств сварочного оборудования, реализующего управляемый перенос электродного металла

электродного металла и металла сварочной ванны. Для данного диапазона определяют коэффициенты вариации параметров тока горения дуги, тока короткого замыкания, напряжения дуги, частоты коротких замыканий и времени коротких замыканий.

*Второй диапазон* (10—500 Гц) (3) — средне-частотный, характеризует капельный перенос электродного металла. Для данного диапазона определяют те же коэффициенты вариации параметров, что и для высокочастотного диапазона.

*Третий диапазон* (0,1—10,0 Гц) (4) — низкочастотный, представляет собой скачкообразные отклонения тока длительностью более 1 с, характеризует частоту колебания сварочной ванны и содержит сигналы о качестве формирования сварного шва (информацию о геометрических размерах сварного шва, глубине проплавления, чешуйчатости и т. д.). Для данного диапазона определяют коэффициенты вариации параметров режима тока сварки и напряжения дуги за заданный промежуток времени. Дополнительно для этого диапазона определяют мощность дуги за заданный промежуток времени и соответствующий коэффициент ее вариации.

Частота 50 Гц или кратная ей частота (100, 150, 300 Гц) (2) связана с плохой фильтрацией помех источника питания.

Выбор границ диапазона от 0,1 до 5000,0 Гц обусловлен тем, что в данном частотном диапазоне заключена информация о пространственном положении дуги, гидродинамике сварочной ванны и процессе переноса электродного металла. На частотах ниже 0,1 Гц невозможно

оперативно оценить качество формирования сварного шва, так как процесс сварки и кристаллизации сварочной ванны происходит быстрее [2]. На частотах выше 5000 Гц проводить обработку осциллограмм нецелесообразно, поскольку все процессы, происходящее на этих частотах, не способны повлиять на сварочные свойства оборудования и качество формирования сварного шва.

Коэффициенты вариации определяют по формуле

$$K_{vi} = \frac{\sigma_i}{M(\Pi_i)}, \quad (1)$$

где  $K_{vi}$  — коэффициент вариации  $i$ -го параметра режима сварки;  $\sigma_i$  — среднеквадратичное отклонение этого параметра;  $M(\Pi_i)$  — математическое ожидание  $i$ -го исследуемого параметра режима сварки.

Полученные коэффициенты вариации для различных параметров режима сварки необходимо сравнить с их эталонными значениями и по результатам сравнения оценить сварочные свойства аттестуемого СО.

При непосредственном сравнении осциллограмм различных параметров режима сварки оцениваемого и эталонного СО их оценку производят по анализу мгновенных значений параметров режима сварки, непосредственно отвечающих за качество сварного шва. Следовательно, используя коэффициенты вариации, можно оценить стабильность значений параметров режима сварки на различных стадиях процесса во всем временном цикле. Таким образом, нет необходимости сравнивать между

собой внешнюю форму осциллограмм, достаточно сравнить вычисленные значения коэффициентов вариации в различных частотных диапазонах, что позволит объективно и достоверно оценить сварочные свойства аттестуемого СО.

Для тестирования сварочных свойств СО с УК разработан экспериментальный стенд, схема которого приведена на рис. 2. Во время сварки КСС 5 с применением оцениваемой сварочной установки 2 производится запись осциллограмм процесса с помощью цифрового регистратора сварочных параметров 11. Дополнительно к сигналам  $I_{св}$ ,  $U_{д}$ ,  $v_{св}$  датчиков 7 могут быть использованы сигналы фотодиода 10 и микрофона 9 для записи высокочастотной составляющей дуги. Далее записанная информация поступает в компьютер 8. В компьютере в режиме реального времени производится обработка осциллограмм и по завершении процесса сварки формируется независимое от мнения экспертов заключение (в виде распечатанного протокола) о сварочных свойствах оцениваемой установки. Одновременно с записью осциллограмм с помощью лазерного профилометра 3 измеряется профиль сварного шва,

что необходимо для создания корреляционной связи между энергетическими параметрами сварки и геометрическими характеристиками сварного шва.

В настоящее время проводится апробация предложенного метода тестирования сварочных свойств СО на оборудовании различных фирм. Осуществляются сбор статистических данных для определения численных значений эталонных коэффициентов вариаций и их сравнение с реальными значениями при технологических возмущениях и нестабильностях отдельных стадий исследуемых процессов.

## Выводы

1. Для объективного тестирования сварочных свойств СО с УК предложено выделить три информативных частотных диапазона в контуре «источник питания — дуга — сварочная ванна», учитывающих особенности динамики процессов в сварочной ванне и дуговом промежутке.

2. Сформулированные критерии оценки сварочных свойств учитывают особенности функционирования СО при различных видах переноса электродного металла и позволяют

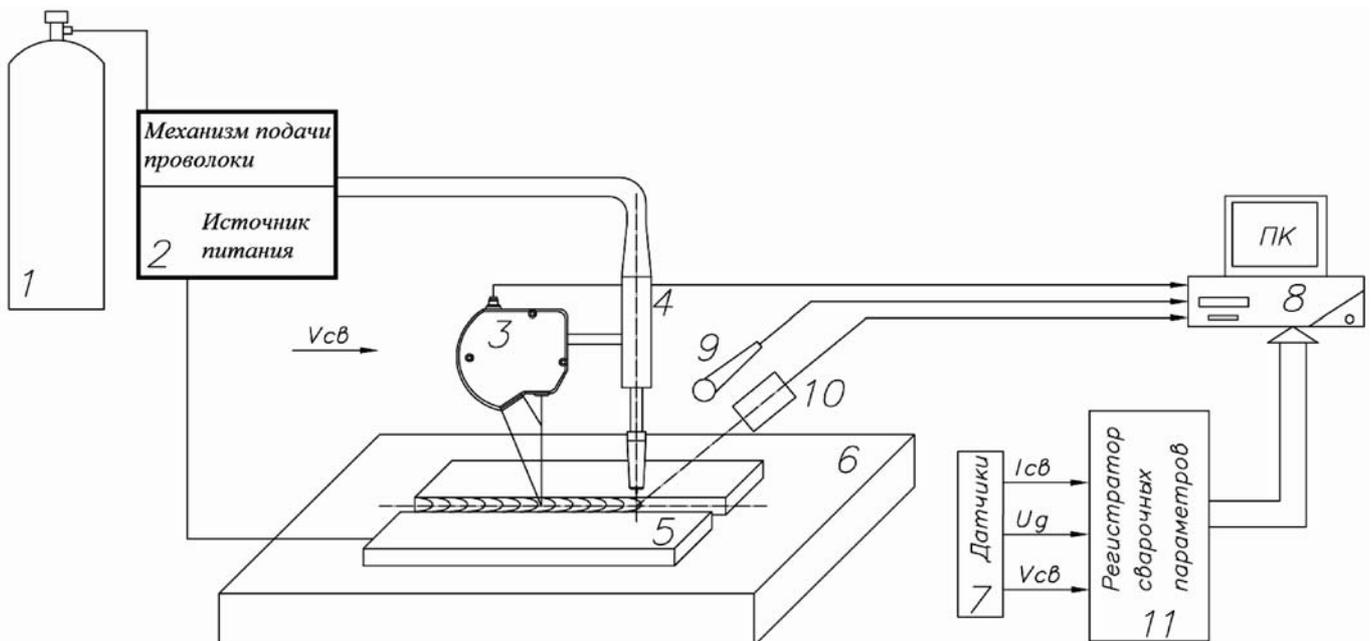


Рис. 2. Схема экспериментального стенда для тестирования сварочного оборудования:

- 1 — баллон с газом; 2 — тестируемая сварочная установка; 3 — лазерный профилометр; 4 — горелка; 5 — контрольно-сварное соединение (КСС); 6 — сварочный стол; 7 — датчики измерения  $I_{св}$ ,  $U_{д}$ ,  $v_{св}$ ; 8 — компьютер; 9 — микрофон; 10 — фотодиод; 11 — цифровой регистратор сварочных параметров

комплексно оценить сварочные свойства тестируемого оборудования.

3. Разработанная методика объективной оценки сварочных свойств позволяет проводить тестирование и аттестацию СО с УК.

#### Список литературы

1. Особенности технологии и применения сварочного процесса STT. The Lincoln Electric Company, Московское представительство, 2003 (<http://www.lincolnweld.ru/>).
2. *Гладков Э.А.* Управление процессами и оборудованием при сварке. М.: Академия, 2006. 148 с.
3. *Ульянова О.В., Чернов А.В., Кривин В.В., Бекетов В.Г.* Особенности моделирования процессов в свароч-

ном контуре // Известия вузов Северо-Кавказского региона. Сер. Технические науки. 2006. № 3. С. 43–47.

4. *Букаров В.А., Ермаков С.С., Дорина Т.А.* Оценка стабильности дуговой сварки по осциллограммам процесса с использованием статистических методов // Сварочное производство. 1990. № 12. С. 30–32.

5. *Милютин В.С., Шалимов М.П., Шанчуров С.М.* Источники питания для дуговой сварки. М.: Айрис-пресс, 2007. 384 с.

6. *Сас А.В., Чернов А.В.* Информационно-измерительные системы в управлении сварочным производством. Новочеркасск: Изд-во Южно-Российского ГТУ, 2008. 148 с.

Статья поступила в редакцию 23.11.2010 г.