

УДК 620.179.17:621.791.75

Е.А. Ожиганов

### ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СВАРКИ МОДУЛИРОВАННЫМ ТОКОМ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Сварка является одним из ведущих и эффективных процессов получения неразъёмных соединений. Преимущества перед другими способами обеспечили ей широкое распространение в машиностроении, энергетике, строительстве и других отраслях. При сварке металлоконструкций, трудно поддающихся методам рациональной автоматизации, ручная дуговая сварка (РДС) является одним из ведущих технологических процессов. Данный способ не имеет альтернативы при ремонте, монтаже и реконструкции технических устройств. Для повышения эффективности РДС возможно применение метода *модуляции тока*.

Существует множество вариантов импульсной модуляции сварочного тока. Сущность всех их сводится к автоматическому, заранее запрограммированному, изменению величины энергетических параметров (тока и напряжения) с определенной периодичностью в процессе горения сварочной дуги. В периоды тока импульса расплавляется основная часть электродного и свариваемого металлов, а за последующий затем период паузы происходит кристаллизация большей части сварочной ванны.

По сравнению с непрерывной сваркой, сварка модулированным током (СМТ) имеет ряд преимуществ. СМТ позволяет обеспечить более тонкое дозирование теплоты, поступающей в сварочную ванну, что значительно облегчает сварку в вертикальных и потолочных положениях. Модулирование сварочного тока предоставляет возможность освободить сварщика от трудоёмкой операции дозирования теплоты и переложить ее на специальное устройство – *модулятор*. Сварщику остается лишь сосредоточить своё внимание на заполнение разделки шва. Наложение импульсов тока на дугу небольшой мощности при сварке плавящимся электродом позволяет получить управляемый мелкокапельный перенос электродного металла. Эффективная (средняя) величина тока при этом уменьшается на 20-30%.

$$I_{зф} = \sqrt{\frac{I_{имп.}^2 t_{имп.} + I_{пауз.}^2 t_{пауз.}}{t_{имп.} + t_{пауз.}}} \quad (1)$$

За счёт устранения коротких замыканий дугового промежутка каплями электродного металла

значительно улучшается стабильность сварки, характер переноса капель практически не зависит от пространственного положения шва.

В результате применения данной технологии значительно улучшается форма шва, за счёт малого значения среднего (эффективного) тока значительно снижается выгорание легирующих элементов в дуге, существенно уменьшается *зона термического влияния*, повышается эксплуатационная надёжность сварного соединения.

Однако метод СМТ пока не нашёл широкого применения. Это объясняется следующими недостатками: способы модуляции реализуются по жёстким программам, которые не позволяют адаптировать параметры модуляции при возникновении возмущений со стороны дуги и сварочной ванны, наличие пульсаций светового излучения, возникающее из-за разницы в интенсивности излучения дуги во время импульсов и пауз, создаёт зритель-

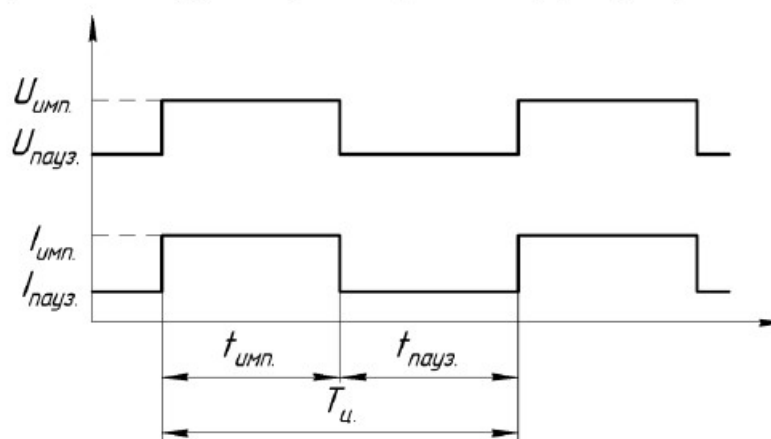


Рис. 1. Изменение энергетических параметров сварки при СМТ.

ные нагрузки и повышает утомляемость сварщика. Поэтому к качеству сварных соединений предъявляются высокие требования.

Для контроля качества сварных соединений применяют как разрушающие, так и неразрушающие методы контроля. Многие традиционные методы *неразрушающего контроля* (НК) применяемые для оценки качества сварных соединений имеют ряд существенных ограничений.

*Ультразвуковой метод* позволяет выявить дефект и определить его размеры, но требует тщательной подготовки поверхности металла — что приводит к большим материальным и временным затратам, также метод имеет значительные ограничения при контроле металлов с крупнозернистой структурой (таких как чугун или аустенитная сталь) из-за большого рассеяния и сильного за-

тухания ультразвука. Кроме того, затруднителен контроль малых деталей или деталей со сложной формой.

При контроле *проникающими веществами* основными недостатками являются - снижение чувствительности метода при отрицательных температурах, контроль при высоких температурах (более 50°C) требует специальных составов, кроме того данный метод позволяет выявлять только поверхностные дефекты. Контролируемая поверхность требует предварительной очистки от загрязнений, снижающих эффективность контроля.

*Магнитопорошковый и вихрековый метод* позволяют определить лишь подповерхностные дефекты, расположенные на небольшой глубине. Кроме того, данные методы имеют малую производительность и трудно применимы к изделиям сложной формы.

К главному и основному недостатку *радиационного метода* можно отнести вредность для человека, в связи с чем, требуются специальные меры радиационной безопасности.

Все эти методы позволяют уверенно выявить уже образовавшиеся, сравнительно крупные дефекты, кроме того большую роль при их обнаружении играет человеческий фактор.

В последнее время для решения задач по контролю качества сварных соединений всё большее распространение получают современные методы контроля, позволяющие автоматизировать процессы измерения и контролировать дефекты сварки в реальном времени. Одним из них является *метод акустической эмиссии (АЭ)*. Метод АЭ основан на

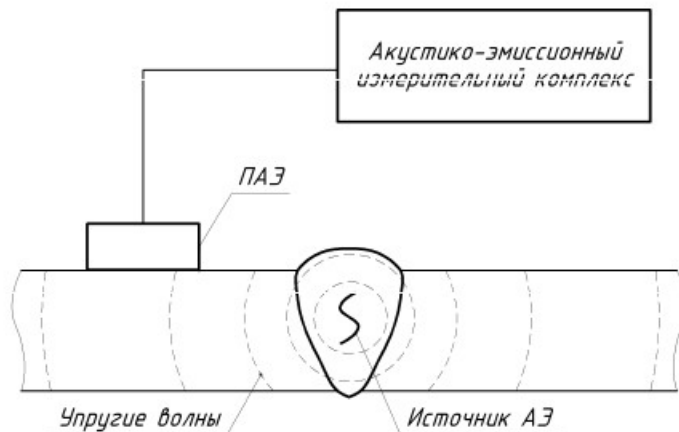


Рис. 2. Принципиальная схема АЭ-контроля

явлении испускания и распространения упругих механических (акустических) волн при нелинейных трансформациях структуры объекта контроля, в результате физического воздействия на него. Преобразователь акустической эмиссии (ПАЭ) получает акустический сигнал от источника АЭ (дефекта), далее преобразуется в электрический (прямой пьезоэффект) и идет в измерительный комплекс. Там сигнал преобразуется в дискретный вид и проходит обработку.

Каждый параметр сигнала АЭ связан с каким-либо параметром процесса разрушения и является его акустическим отображением, интенсивность эмиссии меняется в пределах от 0 до  $10^5$  импульсов в секунду. К основным достоинствам АЭ-контроля можно отнести следующие: метод позволяет обнаруживать развивающиеся дефекты (еще на стадии зарождения); метод является дистанционным, т.е. не требует сканирования поверхности объекта для поиска локальных дефектов, а лишь правильного размещения датчиков на поверхности объекта для осуществления локации источника АЭ.

Чувствительность данного метода составляет до  $10^{-6}$  мм<sup>2</sup>. Однако при контроле процесса сварки в реальном времени метод АЭ обладает рядом недостатков, одним из которых является низкая помехоустойчивость, поскольку в процессе сварки сигналы АЭ регистрируются на фоне высокого уровня шумов и помех, и следовательно, задача повышения надежности и достоверности контроля дефектов сварки остается актуальной.

Современные АЭ-системы, кроме акустических сигналов также позволяют получать и иные параметры,

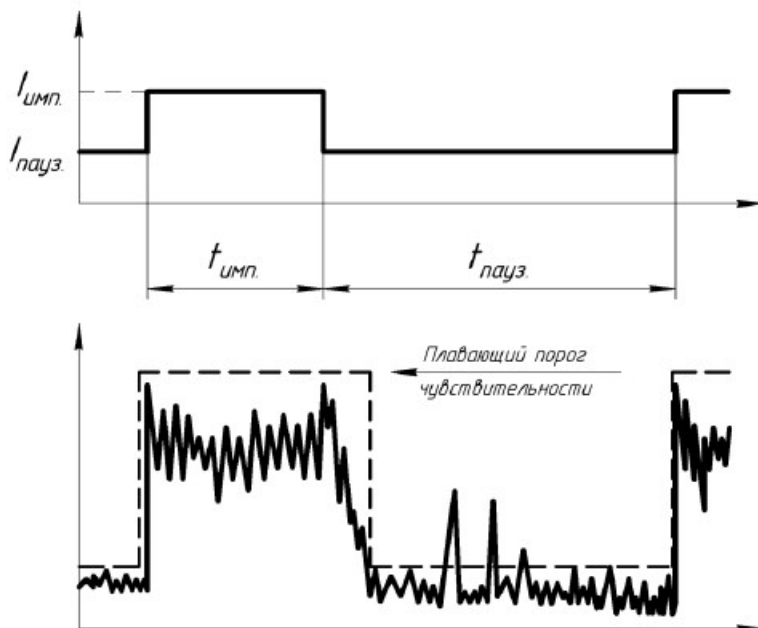


Рис. 3. Активность АЭ при сварке модулированным током

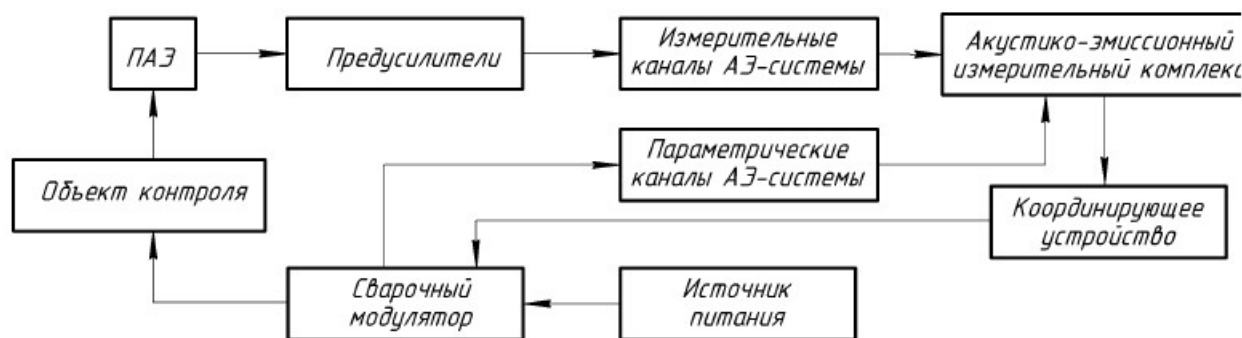


Рис. 4. Функциональная схема АЭ-контроля с обратной связью при автоматической сварке модулированным током

через дополнительные *параметрические каналы*. К сожалению, на практике эти каналы используются мало из-за технической сложности их подключения, а если и используются, то только для контроля степени нагружения при испытаниях объектов повышенной опасности (гидро-, пневмоиспытания). Однако применение параметрических каналов представляет широкие возможности по исследованию возникновения дефектов в процессе сварки, а также анализу и фильтрации шумов при сварке.

Мгновенные значения силы сварочного тока и напряжения дуги в процессе сварки через параметрические каналы поступают в АЭ-систему. Энергия акустических шумов сварки будет пропорциональна работе электрического тока сварки:

$$E_{\text{св. шум}} \sim \int I_{\text{св.}}(t) U_{\text{св.}}(t) dt \quad (2)$$

Зная, порядок энергии акустических шумов сварки возможно создания плавающего порога чувствительности АЭ-системы, а также, совместно с известными методами кластеризации АЭ-сигналов, создания критерия браковки сварных соединений в реальном времени.

Указанный метод контроля может быть применён и к автоматической (полуавтоматической)

СМТ. При этом акустические и параметрические сигналы передаются в АЭ-систему. Оттуда дискретный сигнал подаётся в координирующее устройство, которое, в зависимости от результатов контроля (обработанных сигналов АЭ), изменяет энергетические параметры СМТ в процессе сварки. Данный метод реализует концепцию «машина-технология», при этом, часть манипуляций выполняемых сварщиком, реализуются техническими средствами.

#### Выводы

СМТ по сравнению с непрерывной сваркой позволяет повысить производительность, получить сварные соединения с относительно лучшими эксплуатационными свойствами, низкими напряжениями и деформациями, а также значительно снизить энергопотребление, что приводит к улучшению технико-экономических показателей сварки.

Применение АЭ в качестве метода НК при контроле сварных соединений при СМТ позволит решить крупную научно-техническую задачу – проведение оценки качества швов в режиме реального времени на этапе формирования, повышения надёжности и достоверности контроля.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, А.Н. Диагностирование технических устройств опасных производственных объектов / А.Н. Смирнов, Б.Л. Герике, В.В. Муравьев. – Новосибирск: Наука, 2003. – 244 с.
2. Акустико-эмиссионный контроль железнодорожных конструкций / А.Н. Серьезнов, Л.Н. Степанова, В.В. Ивлиев [и др.]. – Новосибирск: Наука, 2011. – 272 с.
3. Князьков, В.Л. Повышение эффективности ручной дуговой сварки трубопроводов / В.Л. Князьков, А.Ф. Князьков – Кемерово: ГУ КузГТУ, 2008. – 104 с.
4. Неразрушающий контроль / Справочник в 8 томах / под ред. В.В. Клюева. – Т. 7. – М.: Машиностроение, 2006. – 829 с.
5. Степанова, Л.Н. Исследование процесса сварки рельсов акустико-эмиссионным методом / Контроль и диагностика – №12. / Л.Н. Степанова, С.И. Кабанов, К.Ф. Канифидин [и др.]. – М.: Издательский дом Спектр, 2011. – С. 12–15.
6. Шигаев, Т.Г. Сварка модулированным током / Итоги науки и техники. – Т. 17. Сварка. – М.: Москва, 1985. – С. 91–133.

□ Автор статьи:

Ожиганов  
Евгений Анатольевич,  
аспирант каф. «Технология машино-  
строения» КузГТУ.  
Тел. 8 (3842) 44-15-92