

УДК 621.791.762.5

Чвертко Е. П., Шевченко Н. В., Пирумов А. Е.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ КОНТАКТНОЙ СТЫКОВОЙ СВАРКЕ ОПЛАВЛЕНИЕМ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

При производстве сварных соединений стержневой арматуры с использованием большинства способов стыковой сварки давлением стопроцентный контроль качества неразрушающими методами (ультразвуковым, рентгенографическим и т. п.) оказывается весьма затрудненным. Поэтому качество сварных соединений часто определяют по отклонениям основных параметров режима сварки от допустимых значений. Однако даже при этом характеристики соединений в пределах партии однотипных изделий разнятся, поэтому качество партии назначают с некоторой доверительной вероятностью по результатам выборочных механических испытаний.

В работе исследования проводились на оборудовании, широко применяемом на предприятиях стройиндустрии (машины серии МС, МСО). Конструктивной особенностью этих машин является электромеханический привод оплавления и осадки. Такой привод обеспечивает жесткое программирование процесса по перемещению без использования обратных связей.

Известно, что при сварке оплавлением качество сварных соединений будет достаточно высоким, если обеспечивается выполнение таких условий: получение заданного распределения температуры в приконтактной зоне на всех участках поверхности поперечного сечения перед осадкой; обеспечение необходимой интенсивности оплавления перед осадкой; обеспечение необходимых значений величины и скорости осадки. Кроме того, при сварке изделий с относительно небольшой площадью поперечного сечения, особенно из термически упрочненных сталей, время осадки под током оказывает значительное влияние на свойства сварного соединения. Это в первую очередь обусловлено дополнительным нагревом зоны соединения, вызывающим изменения характеристик зоны термического влияния.

Поскольку непосредственные измерения значений параметров, характеризующих протекание процесса, часто усложнены либо невозможны, на практике проводят измерение других параметров, которые влияют на нагрев деталей: сварочного напряжения, скорости подачи деталей. Стабильность указанных показателей обеспечивает стабильность нагрева и, как следствие, качества стыков в партии [1]. При этом допустимыми считают отклонения напряжения холостого хода не более чем на 10 % от установленного значения, для вылетов деталей – до 5 %, для скорости подачи деталей – до 20 %.

Это обуславливает актуальность разработки простой в реализации технологии оценки стабильности процесса нагрева с ограниченным количеством измеряемых параметров в режиме реального времени или непосредственно после завершения процесса сварки [2].

Целью работы является определение характеристик для оценки стабильности процесса нагрева по электрическим параметрам, в частности, по значениям сварочного напряжения при контактной стыковой сварке оплавлением арматуры.

Информацию для оценки качества сварного соединения можно получить по результатам анализа физических параметров процесса сварки, в частности электрических [3]. Во время оплавления в контуре машины проходят переходные процессы, связанные с образованием жидких перемычек, их нагревом, разрушением и образованием новых. В процессе осадки под током наличие переходных процессов обусловлено изменением сопротивления сварочного контура. Ход этих процессов определяется мгновенными значениями параметров режима (как электрических, так и механических), а также технологическими возмущениями,

связанными с подготовкой и установкой деталей под сварку. Поскольку в исследуемых машинах величины скорости оплавления и припусков на оплавление задаются приводом и не корректируются в процессе сварки, параметром режима сварки, наиболее чувствительным к возмущениям, является напряжение во вторичном контуре машины.

Поскольку процессы образования и разрушения перемычек во время сварки непрерывным оплавлением может быть описано вероятностными методами, изменение напряжения в процессе оплавления также носит вероятностный характер.

Эксперименты по контактной стыковой сварке непрерывным оплавлением прутков предварительно термически упрочненной стержневой арматуры класса А400С диаметром 16 мм из стали СтЗГпс проводили на лабораторной машине МСО-606. Напряжение измеряли на выходе сварочного трансформатора. Запись параметров проводили с помощью программы File Recorder v.3.2 из специализированного пакета PowerGraph v.3.2, предназначенного для работы с продукцией фирмы L-Card в среде Windows XP. Основным показателем качества стыков было выбрано значение предела прочности σ_e [4].

Регистрацию напряжения во вторичном контуре машины проводили при помощи аналого-цифрового преобразователя Е-140 (L-Card, Россия). Частота аналого-цифрового преобразования 20 кГц на канал была выбрана на основании рекомендаций [5] и проведенных предварительных экспериментов. Для повышения точности измерений цепи измерения были защищены от электромагнитных помех (использование витых пар, установка на вход преобразователя резисторов для снижения влияния синфазной помехи) [3].

Осциллограмма напряжения во вторичном контуре машины во время сварки приведена на рис. 1.

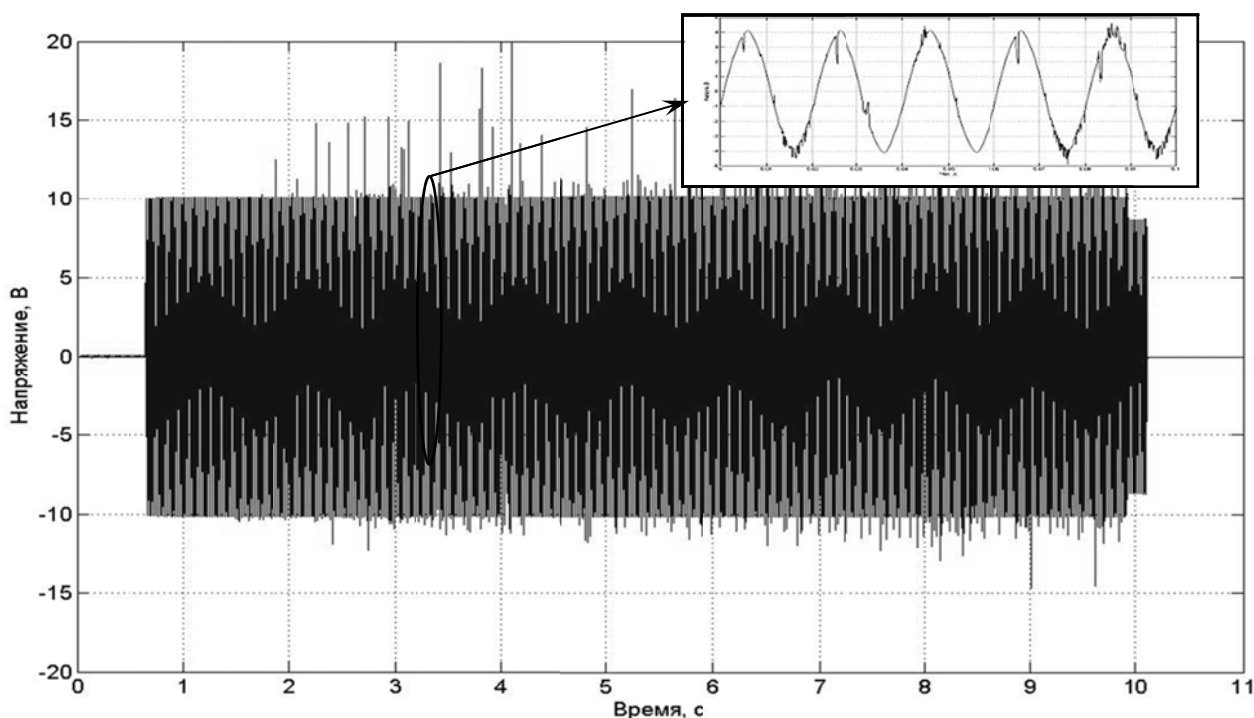


Рис. 1. Осциллограмма напряжения во вторичном контуре машины при сварке

Для проверки возможности оценки хода нагрева по напряжению были проведены сварки на оптимальном режиме и для двух случаев постоянно действующих отклонений параметров процесса, которые снижают качественные характеристики стыка и наиболее часто возникают при сварке:

- снижение скорости подачи детали;
- снижение напряжения холостого хода машины.

Отклонения процесса создавались за счет введения возмущений по указанным параметрам режима больших, чем это допустимо из условий устойчивости непрерывного оплавления.

Анализ вероятностных процессов целесообразно проводить с использованием статистических методов. Поскольку при проведении экспериментов использовалась оцифровка мгновенных значений напряжения, принимаем дискретной случайную величину, для которой определяются статистические характеристики.

Изменение мгновенных значений напряжения во вторичном контуре машины имеет вид периодического сигнала с основной гармоникой, близкой к частоте питающей сети (в данном случае – 50 Гц), на который накладываются кратковременные стохастические импульсы, вызванные взрывно-искровым и переходными процессами. Продолжительность и форма импульсов зависит от параметров вторичного контура машины, в котором происходят переходные процессы, и от интенсивности процесса образования и разрушения перемычек. Процесс нагрева характеризуется также амплитудными значениями периодической составляющей напряжения в разные моменты времени. Оценку интенсивности процесса нагрева проводили по мгновенным значениям напряжения без разделения на стохастическую и периодическую составляющую.

Для массивов мгновенных значений напряжения во вторичном контуре машины были построены следующие зависимости:

- изменение среднего значения мгновенных значений напряжения за время, равное одному периоду питающей сети;
- изменение дисперсии мгновенных значений напряжения за время, равное одному периоду питающей сети;
- автокорреляционная функция напряжения с интервалом разбивки, равным десяти периодам питающей сети.

Для расчетов все время процесса сварки было разбито на участки длительностью 0,02 с и 0,2 с. При частоте измерений 20 кГц длина таких участков составляет соответственно 400 и 4000 замеров, поэтому статистические характеристики были рассчитаны по упрощенным формулам для случая большого числа измерений. Расчеты проводили при помощи встроенных функций пакета Matlab 7.0.

Среднее значение (математическое ожидание) мгновенных значений напряжения (рис. 2) показывает степень отклонения сигнала от периодического с заданной частотой (в данном случае – 50 Гц). По графику математического ожидания сложно оценить стабильность процесса оплавления и, как следствие, нагрева деталей.

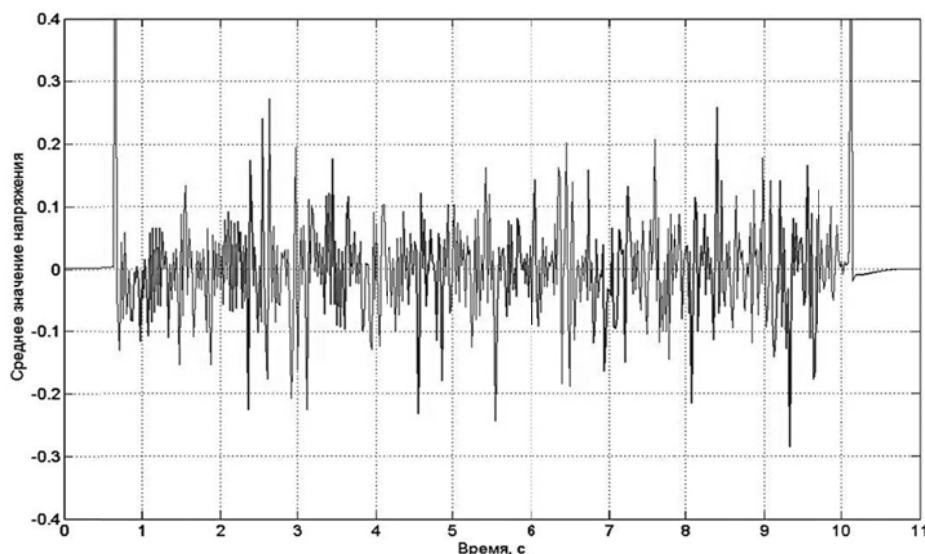


Рис. 2. Изменение средних значений напряжения во время сварки

Дисперсия мгновенных значений напряжения (рис. 3) позволяет оценить степень преобладания вероятностной составляющей процесса, а значит, и интенсивность оплавления. Поскольку дисперсия периодического сигнала за один период – величина постоянная, то во время оплавления значения дисперсии напряжения будут колебаться вокруг этого значения. При снижении интенсивности оплавления (например, при переходе к частичному нагреву сопротивлением) уменьшаются колебания напряжения во вторичном контуре машины. Как следствие, будет снижаться и среднее значение дисперсии.

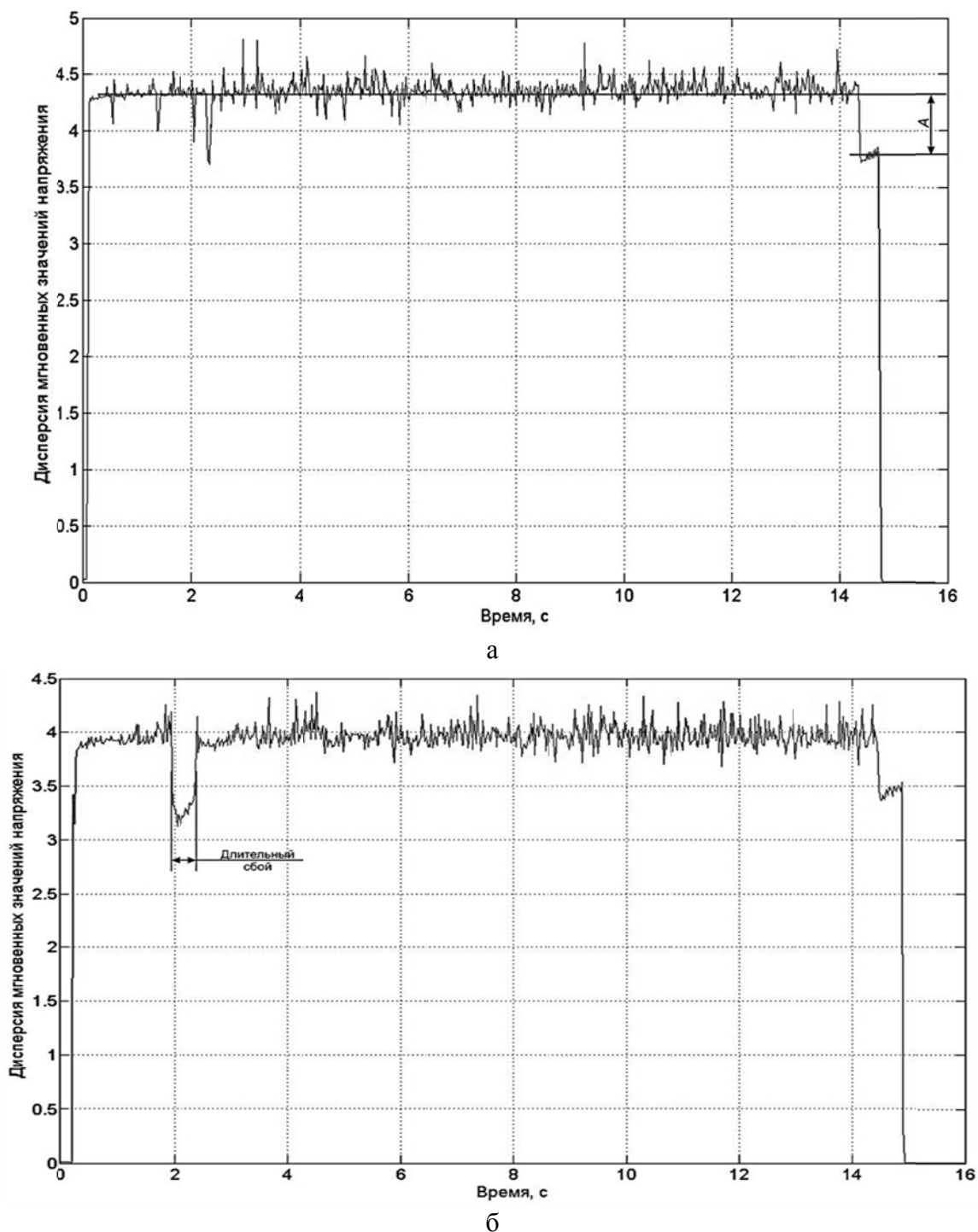


Рис. 3. Изменение дисперсии мгновенных значений напряжения во время сварки: а – процесс без длительных сбоев; б – процесс с длительным сбоем

Следует отметить, что кратковременное (1–2 периода) снижение дисперсии указывает на сбой в процессе оплавления, которые не отражаются на качестве стыка, в то время как более длительные «провалы» в кривой будут предпосылкой к отбраковке стыка. Аналогичное снижение дисперсии на некоторую величину A должно наблюдаться и во время осадки под током, что будет свидетельствовать о полном прекращении оплавления в ходе этой стадии процесса.

При сварке на оптимальном режиме среднее значение дисперсии во время осадки под током не превышает 80 % от ее значения во время оплавления. Разупрочнение сварного соединения при этом не превышает 2 %. При сниженной скорости подачи деталей дисперсия напряжения во время осадки составляет 95–98 % от среднего ее значения в ходе оплавления. В этом случае происходит ухудшение качества соединений за счет образования несплошностей в стыке. При снижении напряжения холостого хода интенсивность искрового процесса снижается. При этом среднее значение дисперсии во время оплавления уменьшается. В связи с этим отношение дисперсии во время осадки под током к среднему ее значению во время оплавления больше чем при оптимальном режиме и составляет 87–92 %. Разупрочнение при этом увеличивается за счет расширения зоны нагрева.

Автокорреляционная функция напряжения (рис. 4) показывает повторяемость характеристик вероятностной составляющей процесса на разных его участках, при этом уменьшение значений функции означает увеличение различий в ходе сравниваемых участков. В качестве базовой выборки при расчете функции был назначен первый период напряжения при сварке (стадия холостого хода), то есть участок осциллограммы с нулевой интенсивностью искрового процесса.

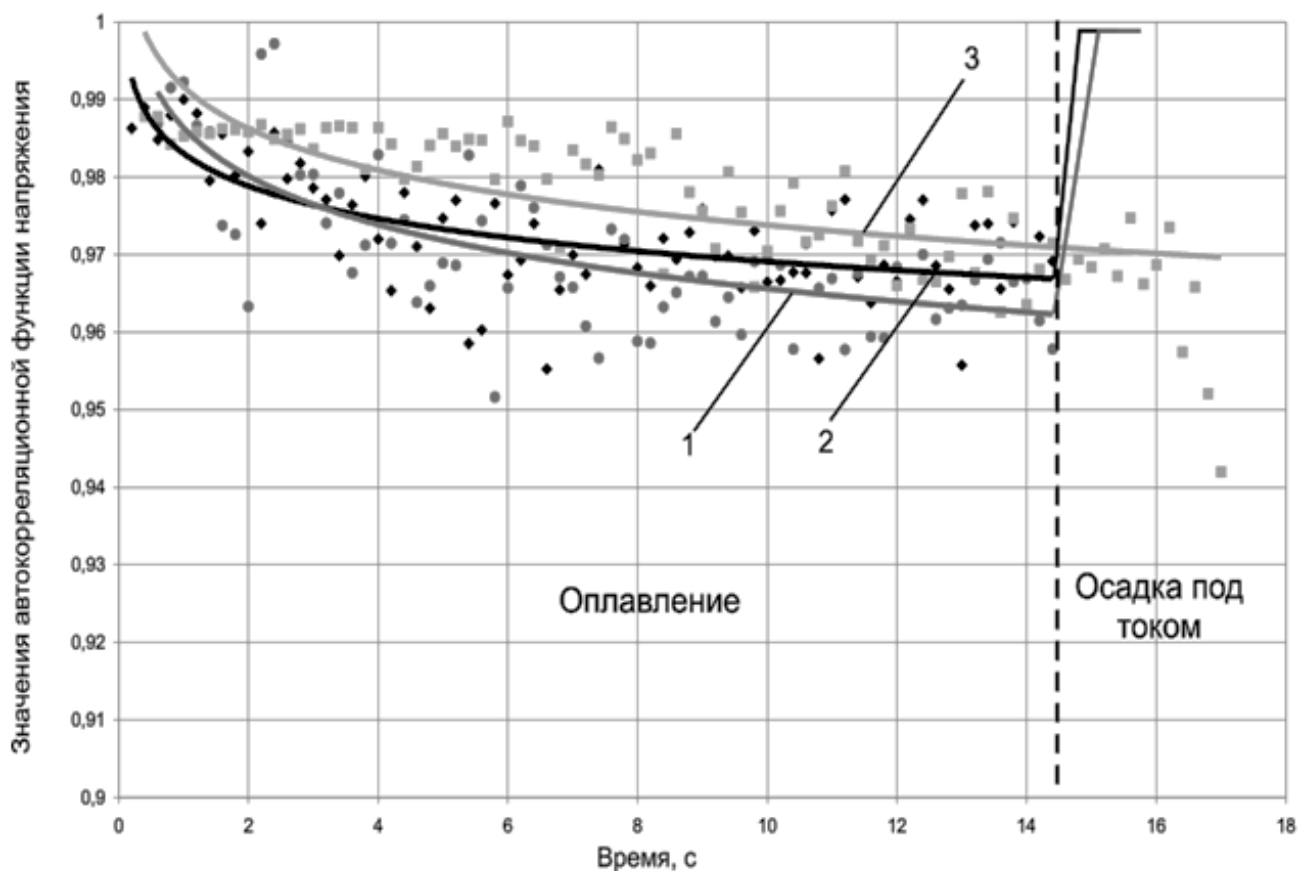


Рис. 4. Автокорреляционная функция напряжения:

1 – оптимальный режим; 2 – сниженное напряжение холостого хода; 3 – сниженная скорость подачи деталей

Процессы с различными отклонениями характеризуются разной скоростью нарастания интенсивности (на графике – снижения функции), при этом более высокой будет интенсивность того процесса, соответствующая которому кривая проходит ниже остальных (в данном случае – для базового режима). В конце сварки значения автокорреляционной функции возрастают до уровня единицы, что отражает нормальное протекание осадки под током, в ходе которой искровой процесс должен полностью прекратиться. Если этого не происходит (кривая 3), можно говорить о предпосылках к снижению качества соединения.

Среднее квадратичное значение автокорреляционной функции при оптимальном режиме находится в пределах 0,95–0,96. При снижении напряжения холостого хода показатель увеличивается до 0,96–0,97, поскольку уменьшается интенсивность искрового процесса. При снижении скорости подачи деталей среднее квадратичное достигает 0,99–0,995, что указывает на еще большее снижение интенсивности процесса. Автокорреляционная функция напряжения во вторичном контуре машины позволяет также оценить условия протекания осадки под током – первой стадии формирования соединения. Если осадка под током проходит нормально, на графике функции появляется ступенька, а среднее значение функции приближается к 1.

Таким образом, автокорреляционную функцию можно использовать для мониторинга качества сварных соединений непосредственно после завершения процесса сварки. В дополнение, поскольку функция дает количественную оценку указанным параметрам процесса, она может быть использована в качестве контролируемой величины в системах управления в режиме реального времени. Среднее квадратичное значение автокорреляционной функции напряжения в ходе изготовления партии однотипных изделий дает возможность оценить вариабельность технологического процесса сварки, например, путем построения карт Шухарта.

ВЫВОДЫ

Напряжение во вторичном контуре машины во время сварки является показателем стабильности процесса нагрева деталей. Дисперсия мгновенных значений напряжения является характеристикой условий протекания оплавления и осадки под током – начальной стадии формирования соединения.

Среднее квадратичное значение автокорреляционной функции напряжения дает возможность оценить условия процесса сварки на разных его стадиях и вариабельность технологического процесса, например, путем построения карт Шухарта.

Методика позволяет осуществлять контроль хода процесса сварки каждого стыка в партии изделий и снизить количество необходимых разрушающих механических испытательных образцов-свидетелей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кучук-Яценко С. И. Контактная стыковая сварка оплавлением / С. И. Кучук-Яценко. – Киев : Наукова думка, 1992. – 236 с.
2. Шевченко М. В. Моніторинг якості зварювання за електричними параметрами процесу / М. В. Шевченко, А. Є. Пірумов, І. О. Скачков // Наукові вісті Національного технічного університету України «КПІ». – 2011. – № 5. – С. 84–88.
3. Скачков И. О. Оценка стабильности процесса оплавления при контактной стыковой сварке / И. О. Скачков, Е. П. Четвертко // Автоматическая сварка. – 2011 – № 3. – С. 38–40.
4. ГОСТ 10922-90. Арматурные изделия и закладные детали сварные для железобетонных конструкций. Технические требования и методы испытаний. – Взамен ГОСТ 10922-75 ; введ. 01.01.91. – М. : Издательство стандартов, 1990. – 21 с.
5. Скачков И. О. К вопросу применения нейронных сетей для контроля качества сварных соединений при подводной сварке / И. О. Скачков, А. Е. Пірумов, С. Ю. Максимов, Е. А. Прилипко // Автоматическая сварка. – 2006 – № 6. – С. 27–31.