



## ПОРТАТИВНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

П. М. РУДЕНКО, В. С. ГАВРИШ, кандидаты техн. наук (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Рассмотрены структурная схема и алгоритмы работы системы контроля качества сварных соединений, выполненных контактной точечной сваркой, построенной на основе карманного персонального компьютера. Кроме контроля качества в реальном времени, в системе реализованы функции экспертной системы для выбора технологии и анализа производства.

*Ключевые слова:* контактная точечная сварка, сварные соединения, контроль качества, управление процессом, диаметр ядра сварной точки, экспертная система, карманный персональный компьютер

Качество контактной точечной сварки зависит от многих факторов, в первую очередь от выбранной технологии, применяемого оборудования и автоматического контроля процесса в реальном времени.

Известно много стационарных и карманных приборов, систем на основе офисных и промышленных компьютеров и ноутбуков, предназначенных для контроля процесса контактной точечной и шовной сварки сопротивлением.

Эти приборы и системы позволяют исследовать процесс сварки новых и известных материалов и конструкций, автоматизировать выбор режима сварки, оптимизировать его, задавать и проверять допустимые пределы колебаний параметров режима, следить в реальном времени за качеством сварки. С их помощью можно накапливать, статистически обрабатывать и анализировать данные, сертифицировать производство, калибровать датчики, осуществлять техническое обслуживание сварочных машин и электродов.

В качестве примера систем контроля процесса контактной точечной сварки можно отметить широкую номенклатуру приборов Miyachi Uniteck [1], мониторы WeldComputer Corp., ATek Resistance Welding и Dengensha America (все США), карманный тестер TECNA (Италия) [2], измерительные системы ВНИИЭСО (Россия) [3].

В ИЭС им. Е. О. Патона также разработана серия приборов контроля и диагностики процесса (УДК-01, -02, -05) [4] и систем управления режимом сварки, которые имеют широкий набор функций по контролю параметров режима и качества сварного соединения (РВК-100, КСУ КС-02) [5, 6].

Описанные выше приборы по контролируемым параметрам отличаются несущественно.

Обычно это ток сварки или ток в первичной обмотке сварочного трансформатора, напряжение между электродами, давление или усилие сжатия электродов, перемещение электродов и время отработки операций в циклограмме. Однако по технической реализации они могут сильно отличаться. Так, серия Miyachi Uniteck включает стационарные MG3, ММ-370 (массой 5 кг) с графическим дисплеем, более компактный ММ-122А (1,9 кг) с возможностью подключения к внешнему персональному компьютеру (например, ноутбуку) и печатающему устройству, так называемый наладонный ММ-380 (0,9 кг) и, наконец, карманные приборы для измерения параметров тока ММ-315А и усилия сжатия ММ-601А. В то же время мониторы WeldComputer Corp. похожи на промышленные рабочие станции с полноценным графическим экраном с возможностью работать как локальное, удаленное или сетевое устройство, контролирующее несколько сварочных машин.

В ИЭС им. Е. О. Патона создана экспертная система для контактной точечной сварки [7], которая на основе баз данных и знаний выдает рекомендации по технологии сварки изделий с заданной толщиной деталей, состоянием их поверхности, особенностей конструкции и марки материала. Для повышения конкурентоспособности желательна разработка приборов контроля с функциями экспертной системы. Кроме работы справочной системы, существует также возможность выбора наиболее эффективного способа оценки качества для рассматриваемого изделия и автоматического переключения прибора в требуемый режим контроля.

Приборы УДК были построены на основе промышленных контроллеров. Реализация в них алгоритмов, аналогичных экспертным системам, из-за ограниченного объема памяти для хранения программы и данных невозможна. Дисплеи для вывода данных имеют ограниченные возможности по объему выдаваемой текстовой и графической информации. Вместе с тем полноценный вывод ин-

формации является очень важным и его отсутствие приводит к ограничению возможностей экспертных систем. В то же время приборы контроля и управления являются сложными компьютерными устройствами и выпуск их малыми партиями приводит к большой себестоимости.

В настоящее время широкое применение в быту (развлечения, организация рабочего дня, перевод текста, GPS, контроль здоровья и т. п.) находят мобильные компьютерные вычислительные средства с экранами от 3...4 дюймов для отображения текстовой и графической информации — карманные персональные компьютеры (КПК), смартфоны, коммуникаторы, нетбуки и ноутбуки. Их технические характеристики при обеспечении возможности съема информации о параметрах процесса сварки со сварочной машины с успехом могут заменить перечисленные выше приборы и, кроме того, получить дополнительные преимущества путем реализации требуемых функций экспертной системы.

Целью настоящей работы является создание портативной компьютерной системы, в которой одновременно реализованы функции экспертной системы и функции контроля процесса сварки, присущие специализированным приборам. При этом система должна максимально использовать широко распространенное серийное оборудование, которое имеет высокую надежность, низкую стоимость и может быть приспособлено к применению в условиях сварочного цеха.

Одной из основных задач при разработке такой системы является создание аппаратуры и программного обеспечения сопряжения мобильных компьютеров с датчиками параметров процесса.

В ИЭС им. Е. О. Патона для сопряжения контактной точечной машины с универсальными мобильными компьютерными устройствами разработана система контроля параметров процесса точечной сварки КСУ КС-03, назначением которой является измерение параметров процесса и передача этих данных в компьютер верхнего уровня. Блок разработан на основе однокристального контроллера С8051F020 компании «Silicon Laboratory», основным преимуществом которого является наличие необходимых ресурсов для построения измерительной системы: 12-разрядного восьмиканального АЦП с производительностью до 100 К измерений за 1 с и входным усилителем с программируемым коэффициентом усиления при высокой производительности по вычислениям и управлению. Структурная схема системы приведена на рис. 1.

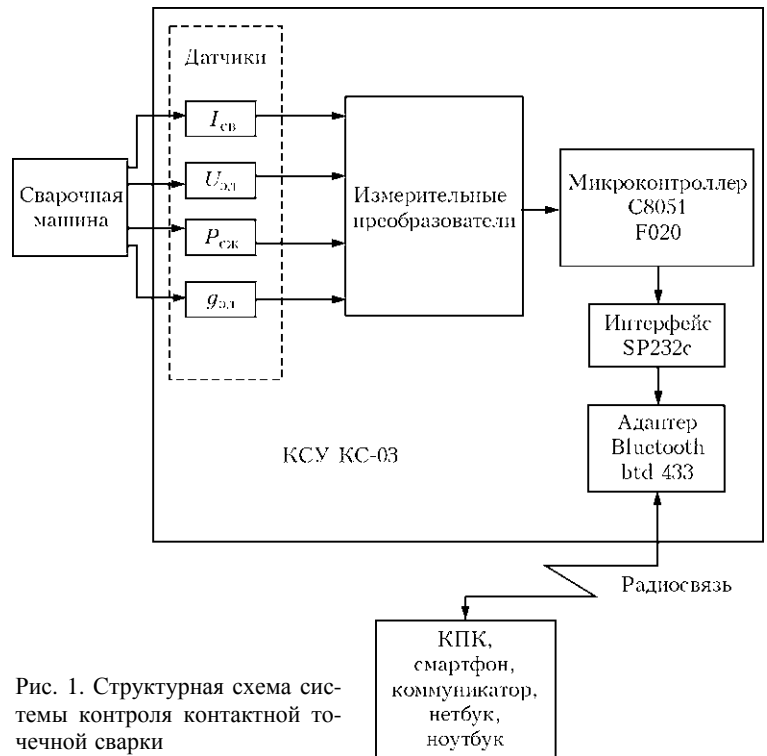


Рис. 1. Структурная схема системы контроля контактной точечной сварки

**Технические характеристики блока измерения**

Диапазон измерения тока сварки, кА	2,0...25,0; 4,0...50,0
Диапазон измерения напряжения между электродами, В	0...5,0
Диапазон измерения усилия сжатия электродов, кН	0...10 ; 0...20
Диапазон измерения ускорения перемещения электродов, g	±1,7
Приведенная погрешность измерения параметров, не более, %	3,0
Скорость передачи данных по радиоканалу, Кбит/с	19,2...115,2
Напряжение питания, В	220...380
Габаритные размеры, мм	260×220×160

Основным отличием блока от приборов контроля является наличие одного из двух каналов связи, которые имеются практически во всех портативных компьютерах, USB и Bluetooth. В первом случае скорость обмена составляет до 921,6 Кбит/с, во втором Bluetooth адаптер работает в режиме последовательного канала RS232 и максимальная скорость передачи составляет 115,2 Кбит/с. Хотя радиоканал имеет скорость ниже, его применение может быть предпочтительнее, так как не требуется проводная связь между устройствами, расстояние между приемником и передатчиком может быть до 100 м, исключается попадание высоких напряжений на вход компьютерной системы, простое подключение.

В качестве базового набора в состав блока входят следующие датчики: пояс Роговского разъемного типа производства Инженерного центра сварки давлением им. Е. О. Патона; датчик усилия сжатия MEGATRON KMB 31K 10 KN 0000D; датчик ускорения ANALOG DEVICE ADXL 103.

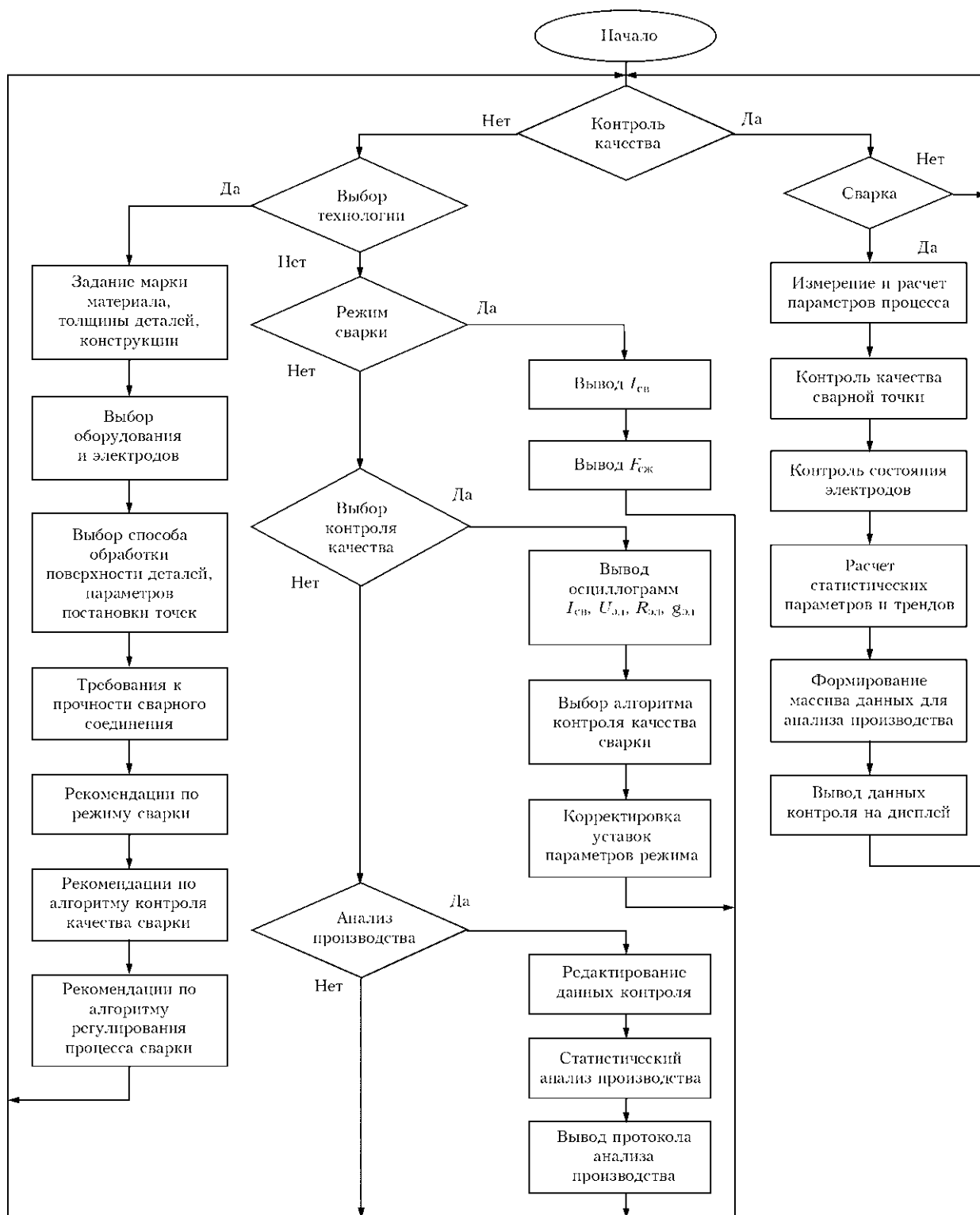


Рис. 2. Алгоритм работы системы контроля

Кроме того, для измерения напряжения между электродами имеется пара измерительных проводников со специальными зажимами.

Датчик тока — гибкий разъемный и имеет диаметр 150 мм, чувствительность 1 Вс/кА, погрешность измерения тока не зависит от положения датчика. Датчик усилия сжатия выполнен из высококачественной стали, рабочий температур-

ный диапазон  $-10...+40$  °С, исполнение IP66. Датчик ускорения — одноосный, чувствительность 1 В/g, смещение нуля при 0 g равно 2,5 В.

В состав блока также входят измерительные преобразователи датчиков. В комплекте с датчиком усилия сжатия используется измерительный преобразователь MEGATRON IMA 3-DMS-2405. Измерительный преобразователь датчика напря-

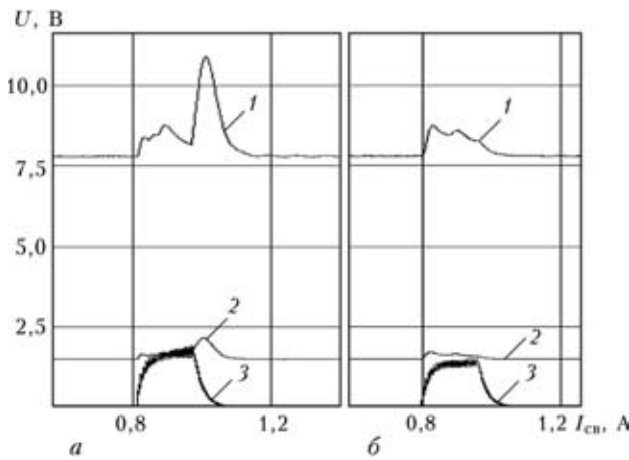


Рис. 3. Осциллограмма сигналов с выходов измерительных преобразователей акселерометра 1 и тока 3 при выплеске (а) и без него (б) (2 — сигнал на выходе акселерометра)

жения устраняет помеху, наводимую от сварочного тока, и позволяет измерять сигнал непосредственно на электродах с прокладкой измерительных цепей по сварочному контуру.

Алгоритм работы системы контроля приведен на рис. 2.

При контроле технологического процесса блок контроля с периодом 10 мс выдает интегральные значения тока, напряжения, усилия сжатия и ускорения электродов, по которым компьютер верхнего уровня рассчитывает входные величины алгоритма контроля качества и стабильности производства:

входные параметры допускового контроля: ток, напряжение, перемещение и сопротивление в последнем периоде сварки, относительное изменение сопротивления, интегральные оценки погрешности отработки кривых тока, напряжения, перемещения (сумма абсолютных значений отклонения текущих величин относительно эталонных кривых);

входные параметры регрессионной модели — энергия  $Q$ , выделенная в сварочном контакте;

входные параметры нейронной сети — средние значения тока и напряжения на четырех последовательных и по возможности равных интервалах, которые в сумме равны времени сварки.

При допусковом контроле качества используют алгоритмы, основанные на «нечеткой» логике [8].

Контроль диаметра ядра сварной точки по регрессионным уравнениям осуществлялся по выражению

$$d = a_0 + a_1 Q + a_2 Q^2,$$

где  $a_0, a_1, a_2$  — коэффициенты уравнения.

При контроле качества сварки по нейронным сетям использовали зависимости, приведенные в работе [9].



Рис. 4. Данные по технологии сварки на дисплее КПК

Для контроля выплеска используют показания акселерометра (рис. 3), который устанавливается на электрододержателе. При этом учитывают время его возникновения: выплеск в начале сварки недопустим и может свидетельствовать о недостаточном усилии сжатия электродов, некачественной подготовке поверхности свариваемых деталей или износе рабочей поверхности электродов. В любом из этих случаев необходимо остановить сварку изделия и устранить причину нестабильного прохождения процесса. В то же время выплеск в конце сварки во многих случаях не является браковочным признаком.

По полученному значению диаметра ядра сварной точки далее вычисляют среднее значение, среднеквадратическое отклонение, а также скользящее среднее значение и скользящее среднеквадратическое отклонение, с помощью которых можно попытаться определить нежелательные тенденции в качестве сварки. Для наглядности, кроме данных о качестве сварки, на дисплей также выводят данные, графики и гистограммы по всему массиву и по скользящим средним значениям.

Имеется возможность сбросить данные по последней точке для исключения их из общей оценки, сбросить весь массив или сохранить его в памяти компьютера в виде отдельного файла для дальнейшего анализа.

Выбор технологии сварки, настройка параметров алгоритма контроля качества и статистичес-

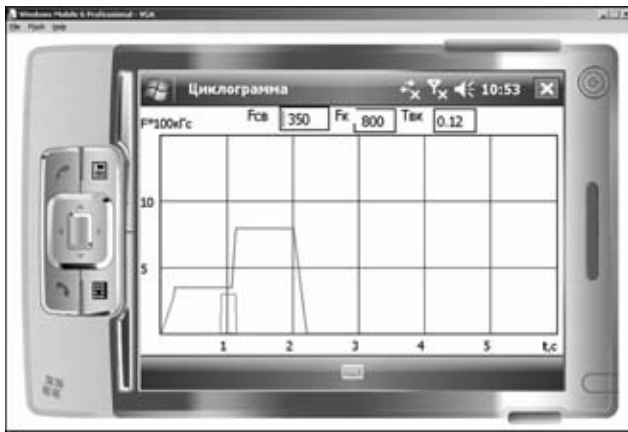


Рис. 5. Циклограмма усилия сжатия электродов на дисплее КПК

кий анализ производства осуществляют в диалоговом режиме.

Рекомендации по выбору режима сварки и выбору оборудования выдаются на дисплее КПК на основании заданной марки материала, толщины деталей, конструкции, способа обработки поверхности, а также требований, предъявляемых к качеству сварки (рис. 4).

Для измерения параметров циклограммы усилия сжатия необходимо отработать заданный режим с включенным током сварки при установленном между электродами датчике усилия сжатия. В этом случае длительность тока и время его в общей циклограмме определяются по датчику напряжения между электродами (рис. 5).

В процессе сварки изделия или образцов при подборе режима измеряют значение тока в последнем периоде  $I_k$ , средний ток за время сварки  $I_c$  и длительность тока  $T_{св}$ . Для перечисленных значений рассчитывают и выводят на дисплей средние значения, среднеквадратические и максимальные относительные отклонения. При этом массив для расчета этих значений в любой момент испытаний может быть сброшен в нулевые значения либо полностью, либо только по последней точке.

При статистическом анализе производства из памяти прибора может быть выбран любой файл

контроля процесса сварки. Обычно один файл соответствует работе сварочной машины в течение дня и его имя выбирается по дате создания (дню, месяцу и году). Из него формируется протокол в виде документа программы Microsoft WORD, в котором указывают количество сваренных точек, данные по качеству сварки, данные по погрешностям воспроизведения контролируемых параметров, рекомендации по зачистке и замене электродов. На дисплее можно вывести гистограммы контролируемых параметров и сравнить их с аналогичными гистограммами при подборе режима.

Таким образом, созданная система контроля и управления процессом контактной точечной сварки на основе современных устройств вычислительной техники значительно расширяет возможности контроля, повышает его достоверность и тем самым обеспечивает требуемое качество сварных соединений.

1. *Resistance welding. Weld checkers. Spirit of innovation.* Miyachi Uniteck. 991-041 03/07.
2. *ТЕСНА. Test and measurement instruments.* 1000-10/2007.
3. *Иоффе Ю. Е.* Аппаратура управления и контроля для контактной сварки // Контактная сварка и другие виды сварки давлением. Технологии и оборудование: Материалы Третьего междунар. науч.-практ. семинара 13–15 июня 2006 г. — С.-Пб., 2006.
4. *Подола Н. В., Гавриш В. С., Руденко П. М.* Компьютерная диагностика контактной сварки // Автомат. сварка. — 1994. — № 7/8. — С. 32–35.
5. *Компьютерная система типа РВК-100 управления машиной для контактной точечной сварки / Н. В. Подола, П. М. Руденко, В. И. Гейц и др.* // Там же. — 1991. — № 7. — С. 61–68.
6. *Гавриш В. С., Руденко П. М.* Система автоматического управления и контроля процесса контактной точечной сварки КСУ КС-02 // Там же. — 2007. — № 11. — С. 43–46.
7. *Подола Н. В., Гавриш В. С., Руденко П. М.* Система автоматического управления и контроля контактной точечной сварки // Там же. — 2007. — № 9. — С. 54–58.
8. *Контроль качества контактной сварки межэлементных соединений аккумуляторов на основе нечеткой логики / Н. В. Подола, П. М. Руденко, Н. П. Горун, В. М. Ягнятинский* // Там же. — 1999. — № 5. — С. 42–45.
9. *Подола Н. В., Руденко П. М., Гавриш В. С.* Применение адаптивного алгоритма для контроля качества сварки в системах управления контактными точечными машинами // Там же. — 1991. — № 7. — С. 61–68.

The paper presents the block-diagram and operating algorithm of the system of quality control of welded joints made by resistance spot welding based on a pocket PC. In addition to real-time quality control, the system also implements the functions of expert system for technology selection and production analysis.

Поступила в редакцию 16.10.2009