

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ КСУ КС 02

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

Рассмотрены методы контроля качества контактной точечной сварки в реальном времени. Предложена универсальная система управления и контроля, отличительными признаками которой являются широкие возможности по контролю качества в реальном времени. Приведены технические характеристики системы и показаны области ее применения в промышленности.

Ключевые слова: контактная точечная сварка, система управления, контроль качества, нечеткая логика, нейронные сети

Современные системы управления процессом контактной точечной сварки реализуются на основе мощных однокристалльных микроконтроллеров, функциональные способности и производительность которых позволяют реализовывать (кроме функций прямого цифрового управления сварочной машиной) сложные алгоритмы контроля качества сварного соединения и управления процессом. В настоящее время, учитывая невозможность визуальной оценки размеров сварной точки в процессе ее выполнения, а также современные требования производства по сертификации и обеспечению высокого качества выпускаемой продукции, контроль качества контактной точечной сварки в реальном времени является одним из основных требований к системе управления точечной сварочной машиной.

Как правило, алгоритмы контроля качества сварных точек основаны на измерении и использовании параметров процесса: сварочного тока, напряжения между электродами, сопротивления участка электрод — электрод, усилия сжатия электродов.

Можно выделить несколько методов контроля по параметрам процесса. Простейший осуществляется по допустимым отклонениям, например, сварочного тока и напряжения между электродами. В дальнейшем этот метод получил развитие благодаря использованию алгоритмов нечеткой логики, которые дали возможность повысить надежность контроля [1].

Для количественной оценки качества сварного соединения, например, диаметра ядра сварной точки, использовали метод оценки по регрессионным моделям. Последние (обычно в виде полиномов первого или второго порядка) строятся по экспериментальным данным сварки методом математической статистики. При этом в опытах пы-

таются учесть все возмущения, которые действуют на процесс в производственных условиях. Для повышения точности моделей применяют различные алгоритмы подстройки коэффициентов модели по данным экспериментальной проверки режима непосредственно на производстве.

Метод контроля по математическим моделям получил дальнейшее развитие с появлением нейронных сетей [2]. Применение моделей на основе нейронных сетей математически несколько сложнее, чем применение регрессионных моделей, однако в первом случае удается повысить точность и надежность прогнозирования качества контактной сварки за счет того, что в нейронной сети возможно проанализировать динамические параметры процесса — изменение сварочного тока и напряжения между электродами во время сварки, что характеризует изменение сопротивления на свариваемом участке и точнее отражает процесс точечной сварки.

Каждый из перечисленных методов — от самого простого до сложного — имеет свои преимущества и недостатки, и в зависимости от назначения системы управления может быть применен на практике. Возможность включения по требованию заказчика в состав программного обеспечения системы и применение перечисленных методов контроля качества контактной точечной сварки является основным отличительным признаком системы управления машиной для контактной точечной сварки КСУ КС 02, разработанной специалистами ИЭС им. Е. О. Патона совместно с Инженерным центром «Сварка давлением» НТК ИЭС им. Е. О. Патона, по сравнению с известными регуляторами серии РКС, которые выпускаются в настоящее время в Украине (завод «Сэлма», г. Симферополь) и серии РКМ, выпускаемый в России (завод «Электрик», г. С.-Петербург). Система предназначена для управления циклом сварки и контроля процесса применительно к стационарным и подвесным одно- и двухпостовым машинам переменного тока.



Система управления машиной для контактной точечной сварки КСУ КС 02 выполняет следующие функции:

прямое цифровое управление сварочной машиной (управление тиристорным контактором и четырьмя (две пары) электропневматическими клапанами для задания и выполнения циклограммы режима сварки: предварительное сжатие, сжатие, сварка с модуляцией тока, охлаждение, отжиг с модуляцией тока, ковка с возможностью включения во время прохождения тока, пауза);

стабилизация параметров процесса сварки (компенсация изменения напряжения питающей сети, стабилизация действующего значения сварочного тока, автоматическая настройка на $\cos \varphi$ сварочной машины, автоматическая корректировка сварочного тока при износе рабочей поверхности электродов);

контроль качества сварки (по допустимым отклонениям сварочного тока и напряжения между электродами или прогнозирование диаметра ядра сварной точки по математической модели);

вспомогательные функции (хранение в памяти системы восьми заданных режимов сварки при отключении напряжения питания и автоматический выбор любого из них внешним сигналом управления, самодиагностика системы, связь с персональным компьютером через канал последовательного обмена RS 232 или RS485, программная защита от несанкционированного доступа к заданию параметров режима сварки, защита выходных цепей управления электропневмоклапанами, тиристорным контактором и вспомогательным оборудованием от перегрузок).

Система имеет удобную панель управления с мембранной клавиатурой и жидкокристаллическим дисплеем, что обеспечивает простоту и наглядность сложной циклограммы процесса сварки (рисунок).

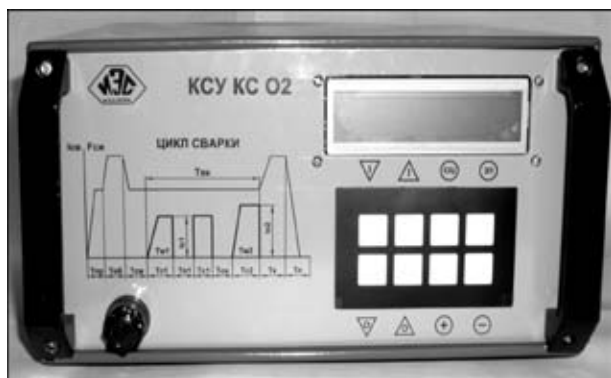
В простейшем случае контроль качества осуществляется по допустимым отклонениям параметров процесса. В контроллер заносятся оптимальные значения сварочного тока и напряжения между электродами, а также диапазон допусти-

мых отклонений этих параметров в процентах. Система формирует сообщение о выходе из допусков по любому из параметров.

Как разновидность контроля по допускам возможен контроль на основе алгоритмов нечеткой логики, который был реализован при сварке межэлементных соединений аккумуляторов [1]. Из-за сложности оценки качества сварного соединения в этом случае количественная оценка какого-либо из показателей соединения недостаточна, а обычный допусковый контроль не позволяет использовать получаемые данные для управления процессом, который учитывал бы технологические особенности сварки деталей из свинца. В используемом алгоритме по напряжению между электродами контролируют величину отпечатка от электродов, и далее для регулирования плотности тока определяют требуемое значение сварочного тока, которое необходимо получить при его стабилизации.

В случаях, когда качество сварного соединения можно определять по какому-либо расчетному параметру, например, диаметру ядра или глубине проплавления, используется математическая модель в виде уравнения регрессии или нейронной сети. Хотя эти способы контроля качества сварных соединений являются почти равноценными, для некоторых свариваемых материалов, в частности, сталей, покрытых защитным слоем, нейронные сети позволяют достичь более высокую точность прогнозирования, так как с их помощью удастся проследить изменения параметров во времени. Известно, что поведение кривой сопротивления в процессе сварки низкоуглеродистых сталей хорошо коррелируется с показателем прочности сварного соединения.

Чтобы исключить хранение в памяти больших массивов данных по весовым коэффициентам для разных толщин и материалов, в системе используется адаптивный алгоритм контроля качества. Он заключается в том, что входными параметрами сети являются их значения, выраженные в относительных единицах к оптимальным значениям. При таком представлении нейросети переход от одного оптимального режима сварки к другому, например, при сварке деталей разной толщины или материалов для перестройки сети, необходимо задать параметры нового оптимального режима. Подстройка коэффициентов по экспериментальным данным необходима в редких случаях. Однако количество требуемых дополнительных экспериментов существенно меньше, чем при построении нейросети в традиционном виде [2]. При этом достигается требуемая точность оценки диаметра ядра. Данные о диаметре ядра сварной точки можно передавать через последовательный канал в персональный компьютер для формирования протокола о качестве сварки конструкции.



Внешний вид КСУ КС 02



Функции контроля качества по регрессионной модели или нейронной сети по требованию заказчика выполняются для конкретного материала и толщины.

Что касается функций управления процессом, то по сравнению с упомянутыми выше РКС и РКМ описываемая система имеет те же возможности, т. е. в зависимости от заданного алгоритма управления КСУ КС 02 осуществляет компенсацию колебания напряжения сети или стабилизацию сварочного тока или напряжения между электродами, а также компенсацию износа электродов. Однако, как и в случае с контролем качества, по требованию заказчика для компенсации износа электродов в КСУ КС 02 возможно использование нескольких алгоритмов: от простейшего, когда сварочный ток увеличивают через заданное количество сварных точек, так и более сложного и точного. Известно, что износ электродов зависит от режима сварки, интенсивности охлаждения, материала электродов, способа их изготовления, свойств свариваемых материалов, покрытия их поверхности и некоторых других причин. Измерить степень износа электродов в процессе сварки довольно затруднительно и его оценка по количеству сварных точек является достаточно грубой. В КСУ КС 02 возможно установить программное обеспечение для реализации алгоритма, основанного на контроле параметров режима сварки в реальном времени и изменении сварочного тока по определенному закону, когда корректирующее воздействие рассчитывается по измеренным данным тока и падения напряжения между электродами с учетом плотности тока в свариваемом контакте [3].

Кроме гибкого построения программного обеспечения, КСУ КС 02 является достаточно универсальной. Известно, что для контактной точечной сварки применяют различные типы сварочных машин, которые требуют разное количество управляющих сигналов. Так, для машин переменного тока требуется как минимум три дискретных управляющих выхода, для машин постоянного тока — пять. Для шовных машин необходимо иметь еще один управляющий выход.

Кроме того, на заводах сварочный пост может включать две-три сварочные машины, а также требуется включение сигнализации по результату сварки или управления вспомогательными механизмами. КСУ КС 02 имеет семь дискретных входов (24 В, 10 мА), восемь дискретных выходов (24 В, 5 А) и два аналоговых выхода, не считая внутренний канал измерения напряжения питающей сети. Все перечисленные входы и выходы гальванически разделены и при модернизации программного обеспечения КСУ КС 02 могут быть использованы произвольно. Таким образом, применение КСУ КС 02 возможно для контактных точечных машин, которые требуют обработки специальных алгоритмов управления. Наиболее эффективно применение КСУ КС 02 при производстве конструкций ответственного назначения и сертификации сварочного производства.

Выводы

1. Основным отличительным преимуществом КСУ КС 02 по сравнению с известными аналогами являются широкие возможности по контролю качества сварки в реальном времени: контроль по допустимым отклонениям, по статистическим моделям или нейронным сетям с учетом напряжения на электродах. С ее помощью можно решать сложные технологические задачи и тем самым расширить область применения контактной точечной сварки.

2. Система управления является универсальной и может быть применена для различных типов машин для контактной сварки и сварочного производства, например, в автомобиле-, сельхозмашино-, приборо-, авиастроении и т. п.

1. *Контроль качества контактной точечной сварки межэлементных соединений аккумуляторов на основе нечеткой логики / Н. В. Подола, П. М. Руденко, Н. П. Горун, В. М. Ягнятинский // Автомат. сварка. — 1999. — № 5. — С. 42–45.*
2. *Подола Н. В., Руденко П. М., Гавриш В. С. Применение адаптивного алгоритма для контроля качества сварки в системах управления контактными точечными машинами // Там же. — 2004. — № 6. — С. 15–18.*
3. *Подола Н. В., Руденко П. М., Гавриш В. С. Алгоритмы компенсации износа электродов при контактной точечной сварке // Там же. — 2005. — № 4. — С. 18–23.*

Methods for real-time monitoring of quality of resistance spot welding are considered. The control and monitoring system based on the use of the above methods is described. Technical characteristics of the system are presented, and fields of its commercial application are given.

Поступила в редакцию 05.03.2007