



## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

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

Описана виртуальная технология процесса контактной точечной сварки, позволяющая автоматизировать процесс подбора сварочного оборудования, электродов, режимов сварки с учетом марки и толщины свариваемого сплава и особенностей свариваемых конструкций.

*Ключевые слова:* контактная точечная сварка, компьютерная система управления, математическая модель, нейронная сеть

Современное состояние технологии контактной точечной сварки дает возможность расширения области ее применения с получением более высоких количественных и качественных результатов. Это обусловлено широкой номенклатурой сварочных машин с разнообразными техническими характеристиками и конструктивным исполнением, различными электродными материалами, отличающимися своими физическими свойствами и особенностями применения. Современные системы управления для машин контактной точечной сварки позволяют реализовывать сложные циклограммы нагрева металла и приложения усилия сжатия электродов, стабилизировать различные параметры процесса, осуществлять их взаимный контроль и оценку качества сварных соединений. Однако полноценное использование имеющихся возможностей связано с необходимостью обработки больших объемов технической информации и умением эффективно ею пользоваться. Это является непростой задачей, так как требуемые знания находятся на стыке различных областей науки и техники. Так, например, для настройки современного регулятора для контактной точечной сварки необходимо задать до 20 и более параметров, описывающих режим сварки, алгоритмы стабилизации параметров процесса в реальном времени, контроля качества сварного соединения, компенсации износа электродов.

Поставленная задача значительно упрощается при использовании виртуальной технологии (ВТ). Применительно к технологии контактной сварки ВТ представляет собой программу для персонального компьютера, предназначенную для оказания помощи конструкторам и технологам при проектировании и изготовлении сварных конструкций. Программа позволяет выбрать для определенной марки материала и его толщины, состояния по-

верхности, необходимой прочности или диаметра ядра сварной точки режимы сварки, тип сварочной машины, способ регулирования процесса и контроля качества сварного соединения, а также по математическим моделям оценить качество сварного соединения. При этом на печать выдается технологическая карта на сварку определенного изделия. В дальнейшем требуется сварка двух-трех образцов для практической проверки технологии.

Основой ВТ является экспертная система, состоящая из следующих основных блоков:

базы данных, содержащей параметры режима сварки для различных марок свариваемых материалов и толщины свариваемых деталей, физические свойства используемых электродов, а также технические характеристики сварочного оборудования;

базы знаний, включающей правила и алгоритмы, с помощью которых из базы данных выбираются параметры режима сварки, электроды и тип сварочной машины в зависимости от марки и толщины свариваемого материала, а также условий сварки;

механизма логического вывода — подпрограммы, позволяющей применить те или иные алгоритмы и правила из базы знаний в зависимости от требований пользователя;

средств общения в рамках сварочной терминологии — подпрограммы, обеспечивающей связь ВТ с пользователем с помощью многооконного интерфейса для ввода данных, которые относятся к свариваемым материалам и условиям сварки;

подсистемы объяснения — подпрограммы, которая работает на принципе ретроспективного рассуждения и поясняет, как система достигла конкретного решения, описывает правило или цепочку правил, приведших к этому решению;

подсистемы приобретения знаний, предназначенной для ввода в систему новых фактов и правил с целью дополнения или корректировки базы знаний.

База данных разделена по функциональному принципу на несколько разделов: «Оборудование», «Режимы сварки», «Электродные сплавы». Раздел «Оборудование» включает около 70 типов сварочных машин со следующими параметрами: номинальная мощность сварочной машины, номинальный длительный вторичный ток, номинальный и максимальный вторичный ток, номинальное и максимальное усилие сжатия, вылет, раствор, сопротивление вторичного контура, производительность, расход воды, расход воздуха, габариты и масса. В базу данных «Режимы сварки» для деталей толщиной от 0,3 до 4,0 мм включены следующие параметры: сварочный ток, длительность сварки, усилия сварочного сжатия и ковки, диаметр электрода, радиус заточки электрода, диаметр сварной точки, усилие среза. Раздел «Электродные сплавы» содержит данные о 12 марках электродных сплавов с параметрами их физических свойств.

База знаний включает правила, по которым происходит выбор режима сварки и сварочного оборудования. Выбор типа сварочной машины осуществляется из условий номинального значения тока, усилия сжатия и мощности, соответствующих паспортным данным машины. В зависимости от размеров свариваемого изделия проводится проверка возможности его сварки на выбранной машине по максимальному вылету и раствору контура машины. Кроме того, исходя из рекомендуемого системой цикла сварки, рассчитывают производительность процесса (количество сварных точек в минуту) и сравнивают с номинальной производительностью сварочной машины. Если обеспечить расчетную производительность невозможно, то выдаются рекомендации по выбору машины большей мощности.

После выбора типа машины по ее техническим характеристикам в системе можно получить рекомендации о том, как подключить сварочную машину к питающей сети с учетом максимально допустимого тока, продолжительности включения (ПВ в %), а также допустимого падения напряжения в линии. При этом в зависимости от длины кабеля рекомендуется его требуемое поперечное сечение. При существенных колебаниях напряжения питающей сети рекомендуются регуляторы, обеспечивающие стабилизацию напряжения на первичной обмотке сварочного трансформатора. Проводится проверка возможности использования питающего трансформатора заданной мощности при подключении однофазной пиковой нагрузки из расчета обеспечения падения напряжения не более 10 % напряжения сети для наиболее удаленной от подстанции машины.

В зависимости от паспортных данных выбранного типа машины, исходя из расхода воды и воздуха, выдаются рекомендации для выбора внут-

реннего диаметра шлангов водопроводной и воздушной сети.

Правила по подбору режима сварки содержат алгоритмы и формулы, по которым выбранный режим сварки корректируется с учетом подготовки поверхности деталей, требований к выплескам и вмятинам от электродов. Кроме того, в зависимости от условий сварки выдаются рекомендации по зачистке электродов после сварки определенного количества точек. В алгоритмах коррекции режима сварки используются данные, приведенные в литературе [1, 2], а также учитывается опыт авторов, накопленный при выполнении технологических работ по контактной сварке совместно с предприятиями автомобильной, авиационной, радиоэлектронной промышленности, эксплуатирующими сварочное оборудование.

Работа ВТ основана на выполнении диалогового режима компьютерной программы (рис. 1). Диалог начинается с предлагаемого перечня различных материалов, из которого необходимо выбрать свариваемый материал. В ВТ включаются сведения о низкоуглеродистых, среднеуглеродистых, низколегированных, легированных и коррозионно-стойких сталях, титановых и алюминиевых сплавах. После выбора свариваемого материала необходимо указать его толщину (из диапазона 0,3...4,0 мм), а также количество деталей в пакете. На основании введенных данных о материале и толщине свариваемых деталей система определяет базовый режим, который в дальнейшем корректируется в зависимости от условий сварки. Анализ рекомендуемых режимов сварки показал, что в настоящее время наблюдается тенденция к применению более «жестких» режимов. В связи с этим в систему включены параметры режимов сварки с учетом рекомендаций [1, 2]. Далее указывается состояние поверхности свариваемых деталей, а если она подвергалась обработке, то еще и способ обработки. ВТ выдает рекомендации по марке электродов и периодичности их зачистки, а также позволяет оценить возможность

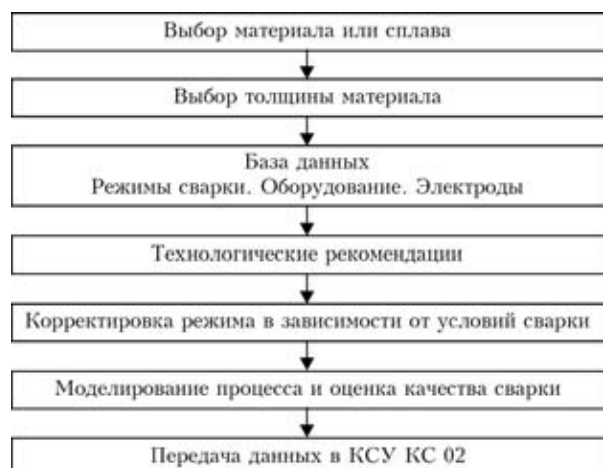


Рис. 1. Алгоритм работы экспертной системы совместно с КСУ КС 02

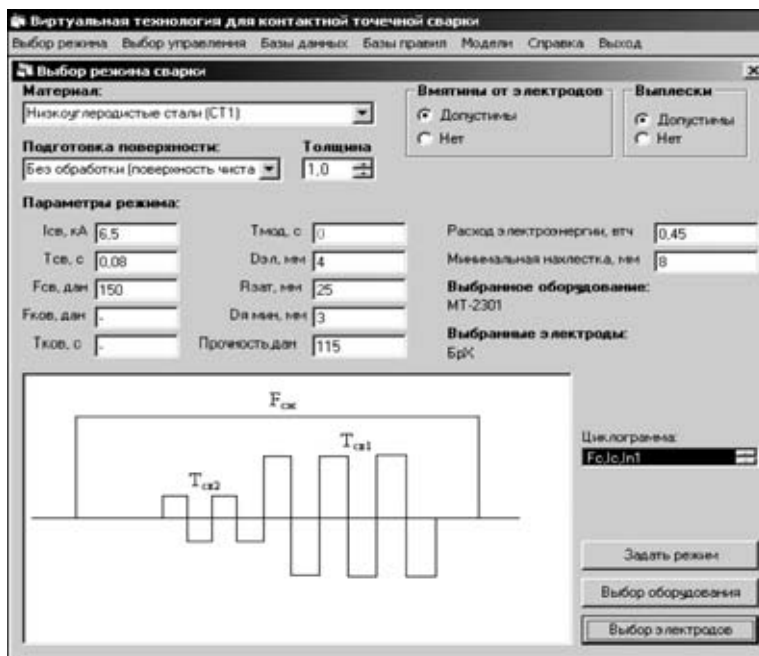


Рис. 2. Базовый режим сварки

Диапазон изменения параметров процесса	Допустимые отклонения				
	Орбм	min	%	max	%
Dя - Диаметр ядра сварной точки, мм	5,00	2,00	60,00	7,00	40,00
Iсв - Сварочный ток, кА	10,00	8,00	20,00	12,00	20,00
Uс - напряжение сети, В	380,0	360,0	5,26	420,0	10,53
Tсв - Время сварки, с	0,10	0,06	40,00	0,14	40,00
Fсж - сварочное усиление скатия, кгС	300,0	249,5	16,67	350,0	16,67
Dэ - диаметр рабочей поверхности электрода, мм	5,00	3,00	40,00	7,00	40,00
Sд - толщина свариваемых деталей, мм	1,00	0,90	10,00	1,10	10,00
Zк - сопротивление вторичного контура, мОм	120,0	100,0	16,67	140,0	16,67
Lш - шаг между сварочными точками	20,00	15,00	25,00	25,00	25,00
Rк - контактное сопротивление свариваемых деталей, мОм	200,0	150,0	25,00	250,0	25,00

Рис. 3. Задание диапазонов изменения возмущений на процесс контактной точечной сварки

замены рекомендуемой сварочной машины с необходимой коррекцией режима. Кроме того, имеется возможность получения информации о технических характеристиках рекомендуемой сварочной машины, применяемых электродах, а также краткое объяснение предпосылок, которые привели к тем или иным решениям — рекомендациям, выдаваемым технологу-сварщику.

Рекомендуемый ВТ базовый режим сварки (рис. 2) может быть скорректирован в зависимости от условий сварки конкретного производства. Так, при сварке деталей, покрытых окалиной, рекомендуется модуляция первого импульса сварочного тока и использование нескольких импульсов тока, разделенных паузой. При этом увеличивается срок службы электродов и уменьшаются выплески металла при сварке.

Базовый режим сварки корректируется также в зависимости от требований, предъявляемых к

внешнему виду соединений, наличия выплесков и вмятин, вызванных электродами.

После выполненных корректировок возникает вопрос — насколько полученный режим удовлетворяет требованиям по качеству сварного соединения с учетом возможных нарушений в технологическом процессе, например, вследствие шунтирования тока ранее сваренными точками, введения в контур машины ферромагнитных масс и т. п. Для проведения необходимых исследований в ВТ необходимо задать диапазоны изменения параметров, которые связаны этими возмущениями и вместе с тем по значению являются характерными для рассматриваемого производства (рис. 3).

Исследования влияния возмущений осуществляются с помощью математических моделей процесса и представляются технологу в графическом виде (рис. 4). Как отмечалось, в современных системах управления для машин точечной сварки возможно управление процессом сварки со стабилизацией отдельных параметров. Для оценки эффективности применения этих алгоритмов есть возможность проведения исследования влияния возмущений при стабилизации  $I_{св}$ ,  $U$ ,  $P$  (рис. 4). Так, по данным оценки компенсации возмущений с помощью стабилизации сварочного тока видно, что в этом случае удается полностью устранить отрицательное воздействие на процесс возмущения по напряжению сети и увеличению сопротивления вторичного контура. В

то же время при возмущениях, связанных с изменением сопротивления  $R$  (изменение усилия сжатия, диаметра рабочей поверхности электродов, толщины свариваемых деталей) погрешность обработки диаметра ядра сварной точки увеличивается по сравнению с управлением по обратной связи. Этот эффект связан с известным явлением саморегулирования, который при стабилизации тока отсутствует.

В итоге в рекомендации ВТ входят данные о параметрах режима сварки, алгоритмах управления процессом в зависимости от возмущений, характерных для рассматриваемого производства, размерах и материале электродов, значениях минимальной допустимой прочности сварной точки на срез, диаметре литого ядра, размере нахлестки, а также о возможном сварочном оборудовании и допустимых затратах электроэнергии.

Разработанная программа ВТ может быть использована, например, в компьютерной системе

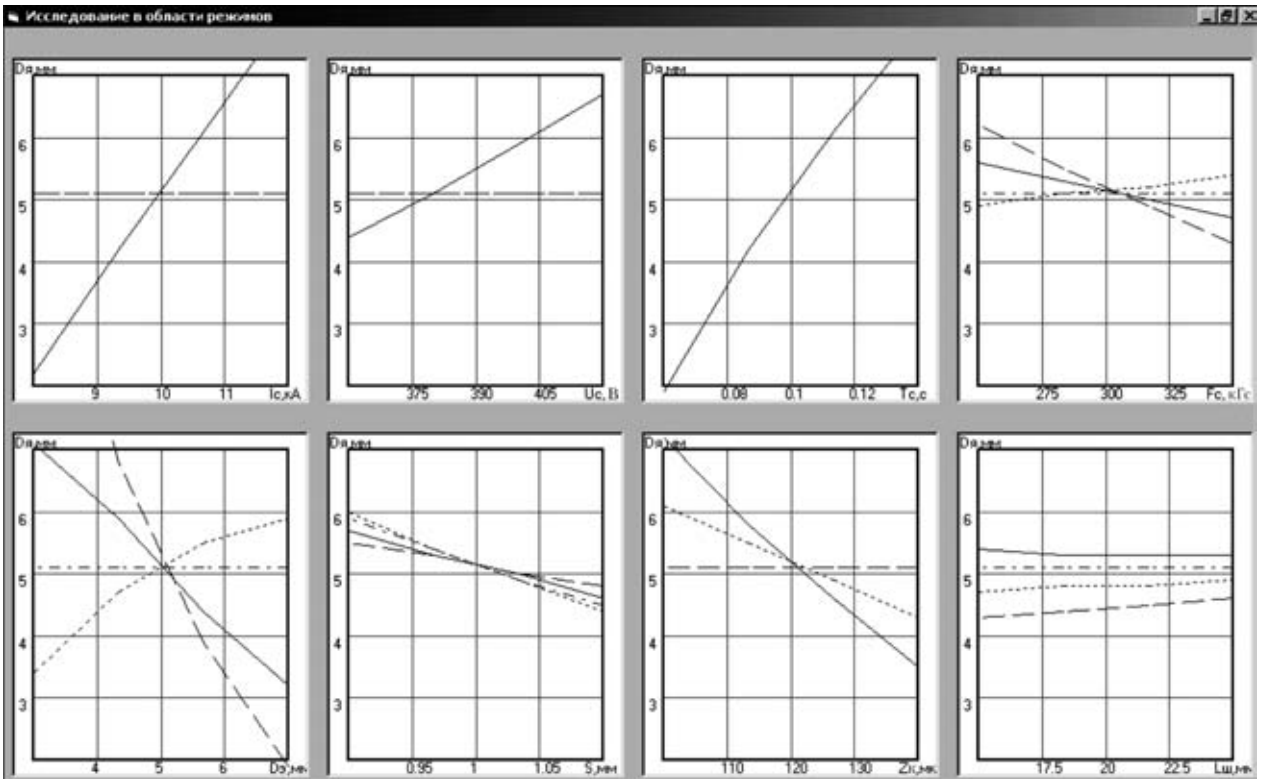


Рис. 4. Графический вид влияния возмущений на качество сварного соединения: сплошная линия — без стабилизации какого-либо параметра; широкая штриховая — стабилизация тока сварки; мелкая штриховая — напряжения между электродами; штрихпунктирная — мощности между электродами

управления КСУ КС 02 [3], так как имеет достаточно широкие возможности как по управлению, так и по контролю. Чтобы в полной мере воспользоваться ими требуется высокий уровень квалификации технолога для настройки регулятора. Описанные выше исследования по подбору режима сварки, выбору алгоритмов стабилизации, параметров в алгоритме компенсации износа электродов могут быть сформированы в массив данных и переданы в КСУ КС 02 по последовательному каналу связи, встроенному в КСУ КС для связи с персональным компьютером или системой управления верхнего уровня. Очевидно, что при необходимости возможна обратная связь от КСУ КС 02 для приема и накопления данных для формирования и выдачи протокола сварки конструкции, развития базы данных по режимам сварки и базы знания по математическим моделям процесса или нейронным сетям для управления сваркой или контроля качества сварных соединений.

Известно, что в последние годы в области технологии и оборудования контактной точечной сварки в Украине и странах СНГ не было выпущено ни одного нового или переиздано старого учебника или справочного пособия. Организация программы ВТ, ее баз данных и знаний позволяет не только наполнять ее известной информацией по уже изданной литературе, а и в будущем достаточно просто вводить в нее новые данные. Вместе с тем объем и наглядность представляемой информации может сделать ВТ полезной как при первичном ознакомлении с предметом, так и как справочной системой для квалифицированного пользователя.

1. *Технология и оборудование контактной сварки* / Б. Д. Орлов, Ю. В. Дмитриев, А. А. Чакалев и др. — М.: Машиностроение, 1975.
2. *Procedure for spot welding of uncoated and coated low carbon and high strength steels.* — [1993]. — (Intern. Inst. of Welding; Doc. III-1005).
3. *Кривенко В. Г., Руденко П. М., Гавриш В. С.* Компьютерная система управления КСУ КС 02 для контактных точечных машин // *Сварщик.* — 2004. — № 3. — С. 37.

Virtual technology of the process of resistance spot welding is described. It enables automation of the process of selection of welding equipment, electrodes and welding modes, allowing for the grade and thickness of the alloy being welded and features of the structures being welded. Obtained data can be automatically transferred to the control system of the resistance spot welding machine for setting its operating mode.

Поступила в редакцию 05.03.2007