

DOI: 10.24412/2077-8481-2024-2-88-95

УДК 621.791.763.2

С. М. ФУРМАНОВ, канд. техн. наук, доц.

Д. Н. ЮМАНОВ, канд. техн. наук

А. О. СЕРГЕЙЧИК

Д. И. ЯКУБОВИЧ, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

РАЗРАБОТКА АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ В ПРОЦЕССЕ РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

Аннотация

Для реализации системы адаптивного регулирования мощности в процессе рельефной сварки были разработаны: электрическая принципиальная схема блока включения электропневмоклапанов машины контактной сварки с трехкамерным пневмоцилиндром, обеспечивающим малые усилия при сварке и большие усилия при проковке; принципиальная схема измерительного полумоста на основе использования фольговых константовых тензорезисторов для регистрации усилия сжатия электродов. Для контроля линейного перемещения подвижного электрода при рельефной сварке предложено использовать инкрементальный фотоэлектрический преобразователь линейных перемещений со штоком ЛИР-17 с точностью измерения 4 мкм при дискретности отсчета датчика 1 мкм, который имеет два выходных сигнала – каналы А и В для определения направления перемещения штока.

Ключевые слова:

контактная рельефная сварка, аппаратные средства регулирования, адаптивное регулирование мощности сварки, перемещение подвижного электрода, стабильность механических свойств соединений, технологический цикл сварки.

Для цитирования:

Разработка аппаратных средств адаптивного регулирования мощности в процессе рельефной сварки / С. М. Фурманов, Д. Н. Юманов, А. О. Сергейчик, Д. И. Якубович // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 2 (83). – С. 88–95.

Введение

Способы мониторинга и контроля параметров процесса контактной точечной и рельефной сварки служат важным ресурсом для специалистов, занимающихся исследованиями в данной области. Использование современных методов контроля и постоянное совершенствование процессов сварки позволят обеспечить высокое качество сварных соединений и повысить эффективность производства.

Для надежного контроля параметров процесса контактной сварки используют специализированные датчики и мониторинговые системы, позволяющие оперативно выявлять отклонения от заданных параметров и предупре-

ждать возможные дефекты еще на ранних этапах формирования соединения. Развитие методов анализа и контроля качества сварных соединений включает в себя разработку новых технологий контроля, внедрение автоматических систем проверки качества сварных соединений и постоянное обучение специалистов в данной области.

Универсальная система мониторинга и контроля контактной сварки состоит из трёх узлов (рис. 1): системы контактной точечной сварки, блока мониторинга и диагностики и блока адаптивного управления. Процесс начинается с предварительного ввода данных оператором обычно в виде циклограммы процесса сварки с указанием основных параметров режима (сварочный

ток, напряжение между электродами, перемещение подвижного электрода и время протекания отдельных этапов сварки). В процессе сварки выходные параметры попадают в блок мониторинга, который включает в себя сбор данных и обработку получаемых сигналов. Полученная информация передается в блок управления. Если есть рассогласо-

вание входных и выходных параметров, адаптивная система автоматически производит коррекцию входных параметров и изменяет циклограмму последующих процессов сварки. Прямыми показателями качества являются геометрические параметры литой точки и механические свойства соединений [1–3].

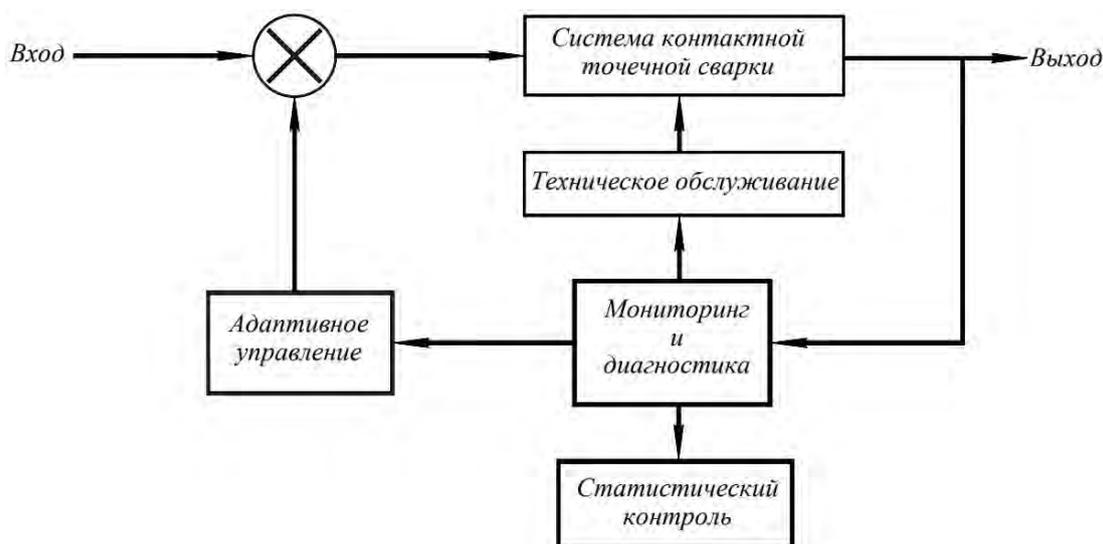


Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга, диагностики и адаптивного управления процессом контактной точечной сварки

Сбор данных является неотъемлемой частью системы адаптивного управления сварочным процессом в реальном времени. Система сбора данных с помощью датчиков измеряет напряжение, силу сварочного тока, усилие сжатия электродов, перемещение подвижного электрода (рис. 2) [1]. Блок преобразования сигналов обеспечивает питание некоторых датчиков и масштабирует сигналы до уровней напряжения для платы аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Для сбора данных можно использовать компьютерное программное обеспечение Labview [2, 4–6].

Перемещение подвижного электрода является лучшим показателем, оценивающим тепловложение. Степень разогрева соединения и образование выплеска связаны со скоростью и вели-

чиной перемещения подвижного электрода. Измерение линейного перемещения осуществляется, например, с помощью LVDT-датчика (Linear Variable Differential Transformer – линейный дифференциальный трансформатор с переменным коэффициентом передачи). LVDT-датчик – это электромеханический преобразователь, преобразующий прямолинейное перемещение подвижного электрода в электрический сигнал с возможностью измерения очень малых перемещений (от десятков микрон) при работе в самых жестких условиях эксплуатации.

Величина усилия сжатия электродов во время сварки также связана с величиной перемещения электрода, температурой зоны сварки и появлением выплеска расплавленного металла. Од-

нако корреляция данных параметров может быть затруднена из-за изменчивости характеристик сварочных машин. Динамика изменения усилия сжатия электродов при сварке и проковке также влияет на процесс формирования механических свойств соединений.

Основная часть

Состав экспериментальной установки для реализации системы адаптив-

ного регулирования (САР) мощности при рельефной сварке представлен на рис. 3. В состав САР входят: электропневмоклапан малых усилий 1, электропневмоклапан больших усилий 2, источник питания постоянного тока 3, монтажная плата блока включения электропневмоклапанов 4, плата сбора данных 5, датчик линейных перемещений 6, пусковая кнопка 7, ЭВМ с программной средой виртуальных приборов LabView 8, осциллограф 9.

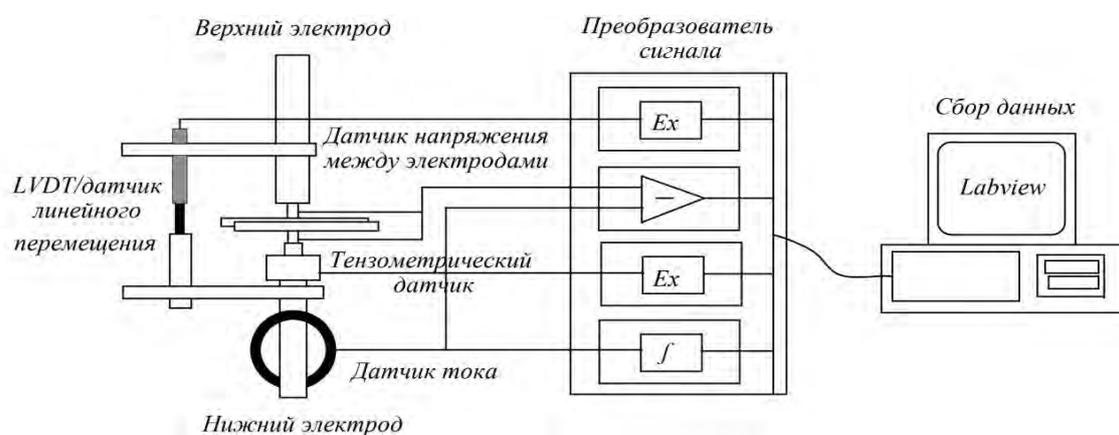


Рис. 2. Система сбора данных процесса контактной точечной сварки

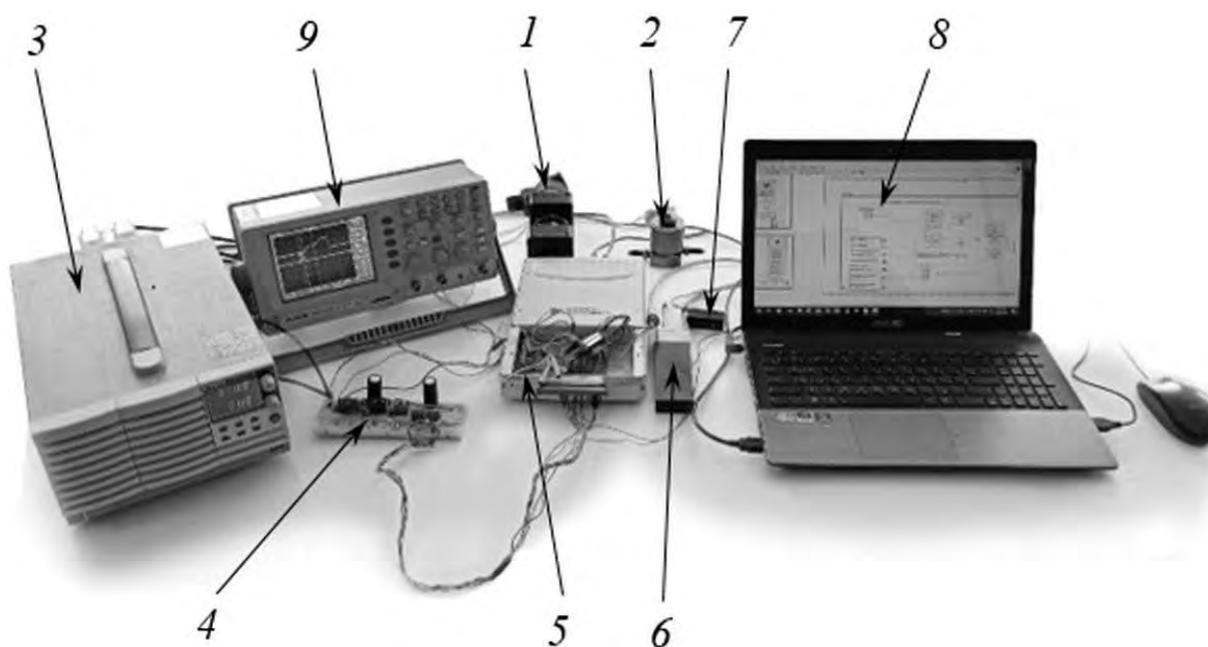


Рис. 3. Система адаптивного регулирования мощности при рельефной сварке

САР предназначена для работы с трехкамерным двухпоршневым пневмоцилиндром машины контактной сварки. Трехкамерный пневмопривод обеспечивает при сварке малые и большие усилия. На машине контактной точечной сварки МТ-3201 САР функционирует следующим образом. При включении клапана 1 пневмопривод работает с противодавлением, т. к. сжатый воздух подается в верхнюю и нижнюю камеры пневмоцилиндра, поэтому создается небольшое сварочное усилие, опре-

деляемое разностью площадей поршня и штока. При включении клапана 2 сжатый воздух подается только в верхнюю камеру пневмоцилиндра, а из нижней камеры стравливается в атмосферу, в результате чего создается повышенное усилие проковки.

На рис. 4 изображена электрическая принципиальная схема разработанного блока включения электропневмоклапанов машины контактной сварки с трехкамерным пневмоцилиндром.

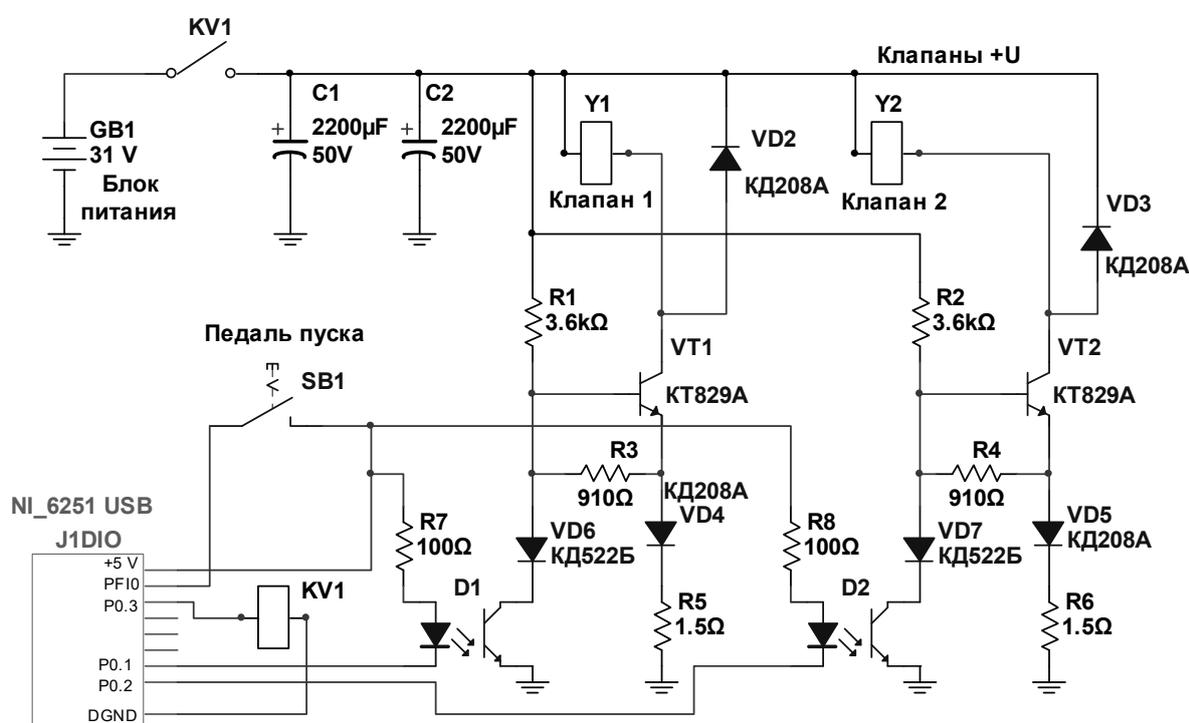


Рис. 4. Электрическая принципиальная схема блока включения клапанов

Блок включения клапанов позволяет обеспечить питание катушек двух электропневмоклапанов Y1 и Y2 с напряжением питания +24 В и током нагрузки 0,5 А каждого от источника питания постоянного тока GB1.

К светодиодам оптронов D1 и D2 через резисторы R7 и R8 подключены цифровые выходы платы сбора данных NI-USB 6251 P0.1 и P0.2 соответственно. При открытии силовых транзисторов VT1 и VT2 обеспечивается протека-

ние тока питания катушек клапанов Y1 и Y2 между выводом схемы «Клапаны +U» и общим выводом через диоды VD4 и VD5 соответственно.

Диоды VD2 и VD3 защищают силовые ключи при коммутации индуктивной нагрузки, когда происходит отключение транзисторов VT1 и VT2. Для исключения питания схемы при отсутствии управляющего сигнала с платы NI-USB 6251 используется реле напряжения KV1, которое подключает

цепь питания только после запуска виртуального регулятора цикла сварки в программной среде LabView, а отключает цепь перед окончанием работы программы.

Контроль линейного перемещения подвижного электрода при рельефной сварке осуществляется с помощью фотоэлектрического преобразователя линейного перемещения со штоком ЛИР-17. Датчик позволяет измерять контактным методом перемещения до 40 мм с точностью 0,5...10 мкм. Данные от датчика перемещения используются устройством сбора данных для расчета скорости перемещения электрода.

Инкрементальный преобразователь линейных перемещений ЛИР-17

имеет два выходных сигнала – каналы А и В, которые называются квадратурными, потому что между ними существует смещение фазы, равное 1/4 цикла или 90°, для определения направления перемещения штока (рис. 5, а). При движении вперед сигнал в канале А изменяется от низкого уровня к высокому раньше, чем в канале В, т. е. канал А ведет канал В. При движении назад канал В ведет канал А (рис. 5, б). Подсчет переходов сигнала от низкого уровня к высокому и от высокого к низкому в обоих каналах дает четыре отсчета для каждого цикла сигнала. Таким образом, при дискретности отсчета датчика 1 мкм положение штока можно определить с точностью 4 мкм [2].

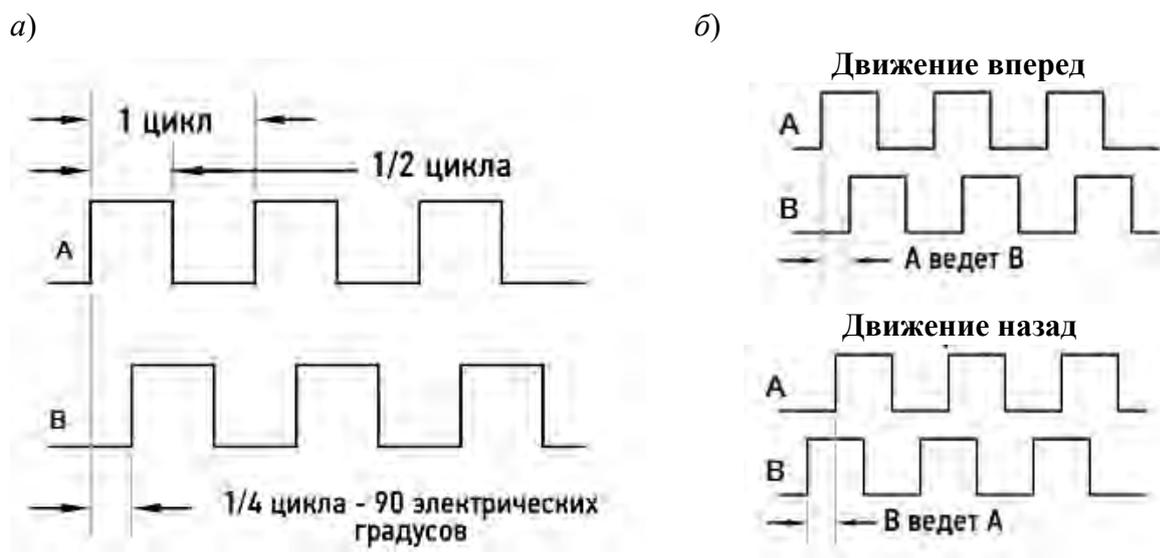


Рис. 5. Квадратурные каналы А и В инкрементального преобразователя линейных перемещений: а – смещение фазы сигналов; б – определение направления перемещения

Датчик перемещения использует систему с «плавающим нулем», что дает возможность начинать измерения из любого текущего положения штока. Таким образом, можно исключить измерение перемещения электрода при опускании на детали и начать его в момент включения сварочного тока с нулевого значения.

Высокая точность при повышенной

помехоустойчивости позволяет использовать датчик ЛИР-17 в условиях действия импульсных магнитных полей промышленной частоты 50 Гц при эксплуатации установок контактной сварки.

Контроль усилия сжатия электродов в процессе контактной сварки осуществляется тензометрическим методом измерения на основе использования фольговых константановых тензорези-

сторов. Принципиальная схема измерительного полумоста на двух тензорезисторах для регистрации усилия сжатия электродов при контактной точечной сварке приведена на рис. 6. Упругая деформация одинаковых тензорезисторов R1 и R2, наклеенных вдоль оси верхнего и нижнего электродов контак-

ной машины, приводит к изменению их сопротивления и выходного электрического сигнала. Регистрация усилия сжатия электродов осуществляется с помощью промышленного усилителя ClipX BM40IE с аналоговым выходом. Данный способ обеспечивает высокую линейность и точность измерения.

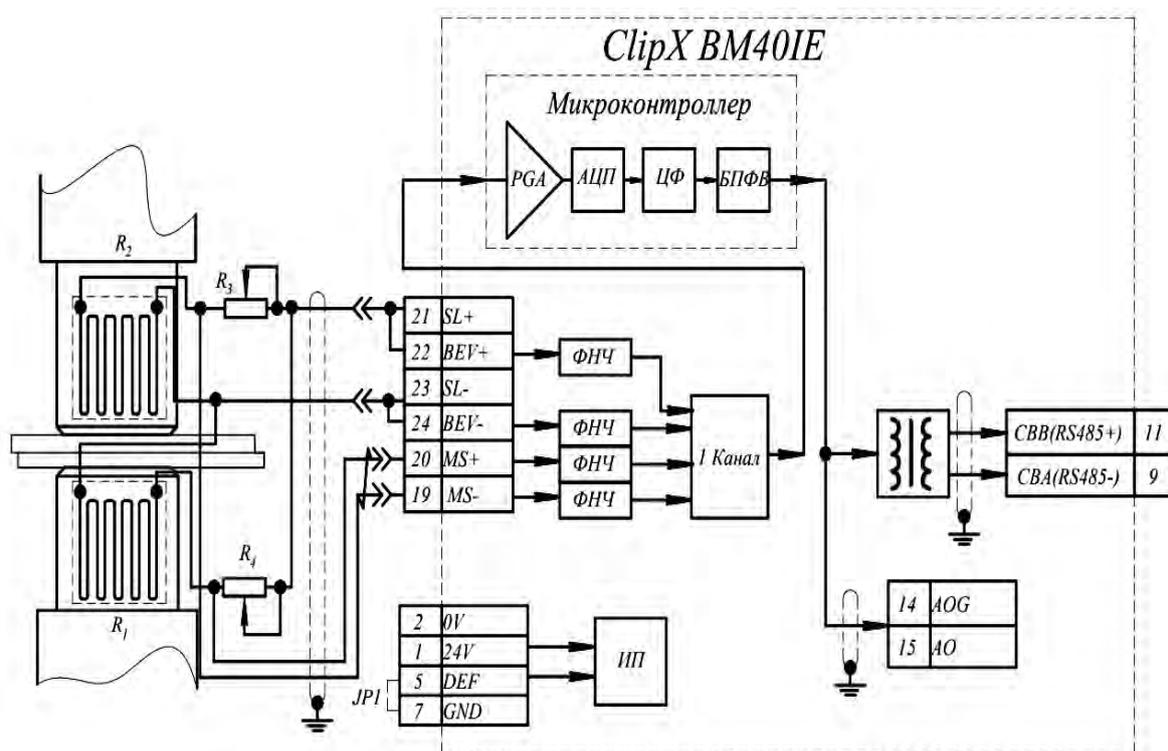


Рис. 6. Принципиальная схема измерительного полумоста на основе фольговых константановых тензорезисторов для регистрации усилия сжатия электродов

Промышленный усилитель ClipX BM40IE работает от источника постоянного тока с напряжением 24 В, имеет один измерительный канал для подключения тензометрического датчика мостового или полумостового типа и аналоговый выход напряжением 0...10 В с частотой выборки 19,2 кГц, который может использоваться для адаптивного регулирования мощности контактной рельефной сварки в зависимости от усилия сжатия электродов без прерывания технологического цикла сварки. Результаты измерений могут также передаваться в сеть RS-485.

Линейные тензорезисторы R1 и R2 с одной измерительной решеткой типа 1-LY15-10/120 с номинальным сопротивлением 120 Ом предназначены для измерения деформаций в одном направлении. Активная длина измерительной решетки или длина базы равна 10 мм.

Переменные резисторы R3 и R4 составляют плечи моста и используются для его балансировки, поэтому во время регистрации выходной сигнал изменяется пропорционально усилию сжатия. Выходное напряжения тензодатчика тарировается динамометром с высоким классом точности.

Усилитель VM40IE обеспечивает напряжение возбуждения мостовой схемы тензодатчика +5 В (Bridge excitation voltage, клеммы прибора BEV+, BEV –). С диагонали моста выходной сигнал поступает на измерительные входы прибора (Measurement signal, клеммы MS+, MS–) и через помехоподавляющие фильтры низких частот ФНЧ приходит на усилитель PGA с программируемым коэффициентом усиления, который масштабирует входной сигнал для аналого-цифрового преобразователя АЦП. Опорным напряжением для АЦП служит напряжение питания моста при шестипроводной схеме подключения (Sense lead, клеммы SL+, SL–). Цифровой фильтр ЦФ обеспечивает фильтрацию низкочастотных импульсных помех. Блок приведения к диапазону физической величины БПФВ преобразует цифровой код и передает его в ячейку памяти, данные из которой по запросу передаются мастеру сети RS-485.

При обработке циклограммы контактной сварки важным моментом является отработка позиции «Предварительное сжатие», заданной на регуляторе. При этом время срабатывания пневмопривода при перемещении поршня в начале сварки является неопределенной величиной и включает время распространения волны давления от распределителя до пневмоцилиндра и время движения поршня на заданный рабочий ход. Это может привести к тому, что сварочный ток начнет протекать через детали уже в момент касания электродов изделия. Но при этом контактные сопротивления еще не стабилизировались и имеют большое значение, что приведет к повышенному тепловыделению в контактах, появлению наружных и внутренних выплесков расплавленного металла и резкому снижению качества сварного соединения. Таким образом, задание позиции «Предварительное сжатие» на регуляторе должно превышать время движения поршня на задан-

ную в режиме сварки величину.

Еще одним важным параметром, обеспечивающим высокую усталостную прочность соединений, является время запаздывания приложения повышенного усилия проковки после выключения сварочного тока. При увеличении этого времени повышается склонность к образованию трещин при кристаллизации расплавленного ядра, при уменьшении – происходят значительные пластические деформации, ведущие к образованию глубоких вмятин на поверхности деталей.

Выводы

1. Проведен обзор технологических приёмов адаптивного управления, способов мониторинга и контроля электрических и физических параметров процесса контактной точечной и рельефной сварки, который показал, что перемещение подвижного электрода является лучшим показателем, оценивающим тепловложение. Степень разогрева соединения и образование выплеска связаны со скоростью и величиной перемещения подвижного электрода. Величина усилия сжатия электродов во время сварки также связана с величиной перемещения электрода, температурой зоны сварки и появлением выплеска расплавленного металла. Динамика изменения усилия сжатия электродов при сварке и проковке влияет на процесс формирования механических свойств соединений.

2. Разработана электрическая принципиальная схема блока включения электропневмоклапанов машины контактной сварки с трехкамерным пневмоцилиндром, обеспечивающим малые усилия при сварке и большие усилия при проковке.

3. Для контроля линейного перемещения подвижного электрода при рельефной сварке предложено использовать инкрементальный фотоэлектрический преобразователь линейных перемещений со штоком ЛИР-17 с точно-

стью измерения 4 мкм при дискретности отсчета датчика 1 мкм, который имеет два выходных сигнала – каналы А и В для определения направления перемещения штока.

4. Разработана принципиальная

схема измерительного полумоста на основе использования фольговых константановых тензорезисторов для регистрации усилия сжатия электродов при контактной точечной сварке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Zhang, H.** Resistance welding. Fundamentals and Applications / H. Zhang, J. Senkara. – New York: Taylor & Francis Group, 2006. – 446 p.
2. **Фурманов, С. М.** Пути совершенствования термомеханических циклов контактной точечной и рельефной сварки: монография / С. М. Фурманов. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – 274 с.
3. **Климов, А. С.** Контактная сварка. Вопросы управления и повышения стабильности качества / А. С. Климов. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 216 с.
4. Компьютерное управление процессом контактной сварки с помощью среды графического программирования LabVIEW / С. М. Фурманов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2019. – № 2. – С. 54–62.
5. Графическое программирование системы адаптивного управления процессом рельефной сварки в среде LabVIEW / С. М. Фурманов [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2023. – № 2 (79). – С. 107–117.
6. Разработка программного кода адаптивной системы регулирования мощности при рельефной сварке / С. М. Фурманов [и др.] // Актуальные вопросы и передовые технологии сварки в науке и промышленности: сб. ст. I Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 24–25 нояб. 2022 г. – Могилев, 2022. – С. 215–220.

Статья сдана в редакцию 15 апреля 2024 года

Контакты:

rochta_furm@mail.ru (Фурманов Сергей Михайлович);
oitsp.dmitriy.y@gmail.com (Юманов Дмитрий Николаевич);
sergei4ix@gmail.com (Сергейчик Антон Олегович);
d.i.yakubovich@mail.ru (Якубович Дмитрий Николаевич).

S. M. FURMANOV, D. N. YUMANOV, A. O. SERGEYCHIK, D. I. YAKUBOVICH

DEVELOPMENT OF HARDWARE FOR ADAPTIVE POWER CONTROL IN THE PROJECTION WELDING PROCESS

Abstract

To implement a system for adaptive power regulation in the process of projection welding the following diagrams have been developed – an electrical circuit diagram of the block for actuating electro-pneumatic valves of the resistance welding machine with a three-chamber pneumatic cylinder, ensuring low forces during welding and high forces during forging, as well as a circuit diagram of a measuring half-bridge based on the use of foil constantan strain sensors to register electrode compression force. To control the linear displacement of a movable electrode during projection welding, it is proposed to use an incremental photoelectric converter for linear displacements with a LIR-17 gage having a measurement accuracy of 4 μm at the discreteness of the readout of 1 μm, which has two output signals – channels A and B to determine the direction of gage movement.

Keywords:

resistance projection welding, regulation hardware, adaptive control of welding power, movable electrode displacement, stability of mechanical properties of welding joints, technological cycle of welding.

For citation:

Development of hardware for adaptive power control in the projection welding process / S. M. Furmanov, D. N. Yumanov, A. O. Sergeychik, D. I. Yakubovich // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2024. – № 2 (83). – P. 88–95.