

УДК 621.791.763.2

ОБЗОР СПОСОБОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПРОЦЕССАМИ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ И РЕЛЬЕФНОЙ СВАРКИ

А. Д. МИХАЛЮТО

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

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

Процесс контактной рельефной сварки имеет широкое распространение в области машиностроения за счёт высокой производительности, что обеспечивает возможность его применения в массовом производстве. Исходя из этого, к качеству соединений, получаемых контактной рельефной сваркой, предъявляются высокие требования. Описывают данные требования совокупность характеристик: механические свойства, герметичность, размеры литого ядра или соединения, а также внешний вид изделия. Для обеспечения формирования соединений с учётом вышеперечисленных качественных характеристик в научно-технических публикациях предложен ряд возможностей реализации систем управления качеством в процессе контактной сварки.

В [1] предлагается новая методология оценки выплеска расплавленного металла из зоны соединения. Автор предлагает использовать индекс на основе анализа сигналов в частотной области для количественной оценки выплеска металла из зоны формирования соединения при контактной точечной сварке (КТС). Индекс выплеска вычисляется на основе результатов быстрого преобразования Фурье (БПФ) сигнала датчика усилия сжатия электродов. Определяя фазу выплеска с помощью БПФ, оценивается полоса пропускания сигнала для обнаружения быстрых колебаний в приложенном усилии. Этот подход является простым в вычислении и может быть реализован на контактных машинах для обеспечения обратной связи в реальном времени. Датчик перемещения используется для распознавания выплеска. Отличные результаты достигаются для соединений КТС путем объединения анализа данных сигналов усилия сжатия и перемещения электрода, что приводит к 100-процентной вероятности положительного совпадения. Результаты показывают хорошую чувствительность распознавания выплеска для анализа на основе БПФ, который может выявить изменения в условиях протекания процесса сварки. Это способствует эффективному использованию систем онлайн-мониторинга процесса сварки для исключения выплесков металла при неправильном выборе параметров сварки, а также при неправильно выбранных геометрических параметрах соединений.

Достаточно интересным решением является алгоритм (CSSA-XGBoost) проверки качества КТС на основе динамического сопротивления [2]. Алгоритм используется для прогнозирования прочности сварных соединений на сдвиг путём обработки сигнала динамического сопротивления во время процесса сварки. Точность прогнозирования этого алгоритма составляет 2,25 %,

что превосходит другие алгоритмы и обеспечивает надежный метод проверки качества формирования соединений в промышленности.

Также предложен способ оптимизации конструкции электродов для улучшения распределения плотности тока и роста тепловложения при формировании сварных соединений КТС алюминиевых сплавов или сталей [3]. Реализация данного метода позволяет обеспечивать точечное тепловложение для формирования литой зоны, снижая потери мощности на нагрев основного металла и электродов.

Предложен новый режим сварки для увеличения времени формирования соединения без выплеска при контактной точечной сварке [4]. Выплески обусловлены высокой скоростью роста расплавленного ядра и тепловым расширением металла. На основании данных исследований циклограмма сварки была оптимизирована путем применения тока подогрева для повышения пластичности металла с последующим нарастанием тока сварки до максимального.

Система адаптивного управления процесса контактной точечной и рельефной сварки состоит из трёх узлов: сварочный блок, блок контроля и блок управления. Вначале оператор вводит данные в виде циклограммы процесса сварки с указанием напряжения управления для задания величины сварочного тока и величины перемещения подвижного электрода для определения времени протекания отдельных этапов: подогрева, нарастания тока, сварки и проковки. В процессе сварки выходные параметры попадают в блок контроля, включающий сбор данных и обработку сигналов. Далее информация передается в блок управления, где определяется рассогласование входных и выходных параметров. Адаптивная система автоматически производит коррекцию входных параметров и изменяет циклограмму последующих процессов сварки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Antal, G.** Frequency domain signal analysis based index for expulsion quantification in resistance spot welding / G. Antal, V. Razza, M. De Maddis // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2025. – № 136. – P. 1149–1151.
2. CSSA-XGBoost: a novel algorithm for inspecting spot welding quality based on dynamic resistance signal / Rui Wang, Ruichen Mi, Hao Xu [et al.] // *Journal of Intelligent Manufacturing*. – 2025. – P. 1–3.
3. Optimizing Electrode Combinations to Improve Welding Current Density Distribution and Intermetallic Layer Morphology Growth for Resistance Spot Welding of Aluminum Alloys to Steels / Fufa Wei, Yanjun Wang, Qian Yin [et al.] // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2024. – P. 1–3.
4. A novel welding schedule for expanding the expulsion-free process window in resistance spot welding of dissimilar joints with ultra-high strength steel / K. Yang, Z. Wang, V. Haak [et al.] // *Journal of Manufacturing Processes Volume*. – 2025. – № 137. – P. 306–319.