

**ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНТАКТНОЙ СВАРКИ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ
RESEARCH AND OPTIMIZATION OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS
FOR RESISTANCE WELDING PARAMETERS TO IMPROVE
THE QUALITY OF WELDED JOINTS**

Сазин Д.И., студент

Мещерякова А.А., к.т.н., доцент

Грибанов А.А., к.т.н., доцент

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет
имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Россия

Sazin D.I., student

Meshcheryakova A.A., CSc (Engineering), Associate Professor

Gribanov A.A CSc (Engineering),

Voronezh State University of Forestry and Technologies named
after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы автоматизации управления процессами контактной сварки и современные тенденции развития систем автоматического регулирования сварочного оборудования. Обоснована актуальность внедрения автоматизации для повышения качества производства, производительности и безопасности, а также минимизации влияния человеческого фактора. Проанализированы ключевые параметры управления (сварочный ток, время, усилие сжатия), функциональные схемы подвесных точечных машин и виды контактной сварки. Установлено, что переход к программно-управляемым комплексам позволяет обеспечить стабильность параметров, снизить количество брака и повысить конкурентоспособность продукции в машиностроении и строительстве.

Abstract: The article discusses the issues of automation of contact welding processes control and modern trends in the development of automatic control systems for welding equipment. The relevance of automation implementation for improving

production quality, productivity and safety, as well as minimizing the influence of the human factor, is substantiated. The key control parameters (welding current, time, compression force), functional schemes of suspended spot machines and types of contact welding are analyzed. It is established that the transition to software-controlled complexes allows to ensure the stability of parameters, reduce the number of defects and increase the competitiveness of products in mechanical engineering and construction.

Ключевые слова: автоматизация, контактная сварка, системы автоматизации, управление контактной сваркой.

Keywords: automation, resistance welding, automation systems, resistance welding control.

Автоматизация управления контактной сварки –одно из важнейших направлений для повышения качества производства, увеличения производительности и самое главное безопасности производства [1, 2].

Контактная сварка является основополагающим процессом во многих отраслях, например от авиастроения и автомобилестроения до производства бытовых и энергетических систем. В современных условиях, которые диктует рынок, традиционные установки контактной сварки с полуавтоматическим или ручным управлением перестают подходить под требования, которые диктуют реалии. Они чаще всего становятся источником технологического брака из-за человеческого фактора, тем самым не давая интегрировать процесс в единую цифровую среду, ограничивая производительность и ухудшая качество.

Напряжение, при котором происходит сварка, берётся из питающего напряжения сети переменного тока 380 В. Для сварки предусмотрено 16 ступеней питающего напряжения, которое формируется с помощью 5 первичных обмоток. Одна обмотка является главной и работает во всех диапазонах. При её подключении вырабатывается максимальное напряжение. Остальные обмотки являются дополнительными. При согласованном и последовательном подключении дополнительных обмоток основной коэффициент трансформации уменьшается, что влечёт за собой снижение выходного напряжения вторичной обмотки. Четыре дополнительные обмотки с весовыми коэффициентами витков 1, 2, 4, 8, позволяют, подключаясь последовательно и встречно относительно основной, уменьшать результирующий коэффициент. Таким образом он варьирует комбинации подключения, на второй обмотке получают требуемое напряжение для сварочного инструмента.

В силовом шкафу расположена коммутационная и защитная аппаратура: автоматический выключатель и контактор для ввода питания, сильноточные реле для переключения обмоток трансформатора, а также оптотиристорный модуль, который подаёт напряжение на первичную обмотку на заданное время для сварного импульса. Здесь же и находится понижающий трансформатор 220/12 В и фазовые индикаторы “А”, “В”, “С”.

Актуальность автоматизации управления контактной сварки очень высока из-за необходимости обеспечения высокого качества шва, повышения производительности, снижения стоимости производства при массовом производстве, работа в опасных условиях и обеспечения повторяемости шва в ответственных отраслях. Автоматизация управляет током, временем, давлением и минимизирует человеческий фактор, что очень важно и влияет на надёжность и качество сварного шва. Она стала нужна для того, чтобы повысить качество и надёжность так как является ключевым пунктом в мостостроении, автомобилестроении, авиастроении и военной промышленности. Без неё будет тяжело сделать не только конкурентоспособное изделие, но и безопасное, ведь безопасность играет ключевую роль в производстве и эксплуатации товаров, которые производят с помощью сварки. С ней увеличилось не только производство, например автомобилей, но и качество, которое влияет на нашу безопасность на дорогах.

Также сварка помогает в строительстве мостов, как например Крымский мост, для того чтобы перевозить предметы первой необходимости и путешествовать между городами.

Технологический процесс контактной сварки представляет собой объект управления, на который воздействует комплекс управляющих и возмущающих факторов, определяющих качество формируемого соединения. Ключевыми управляемыми параметрами точечной и шовной сварки являются:

1) Сварочный ток ($I_{св}$) – Основной источник тепловыделения в зоне контакта.

2) Время протекания тока ($t_{св}$)– Для точечной сварки– это длительность импульса, для шовной– это время импульса (t_i) и паузы (t_p) между ними.

3) Усилие сжатия электродов ($F_{сж}$)– Определяет контактное сопротивление, пластическую деформацию металла и теплоотвод.

4) Геометрия рабочей поверхности электродов – Влияет на плотность тока и распределение давления.

5) Скорость перемещения ($V_{св}$) – Дополнительный параметр шовной сварки.

Требования к стабильности и точности поддержания этих параметров различны. Так, например для обеспечения заданной прочности соединения сварочный ток $I_{св}$ на 10% может привести к уменьшению диаметра литого ядра и падению прочности на 20–25%. В то же время, усилие сжатия $F_{сж}$ допускает отклонение в пределах 10–15% без критического ухудшения качества.

Рассмотрим подвесную точечную машину – это тип сварочного оборудования, который предназначен для выполнения точечной сварки объемных и крупногабаритных конструкций, которые невозможно обрабатывать и перемещать на стационарных сварочных машинах. Главная особенность таких машин – это их мобильность.

Они применяются в автомобилестроении и вагоностроении, изготовление каркасов железобетонных изделий, сварка арматурных стоек, соединение листовых деталей в поточных линиях и труднодоступных местах.

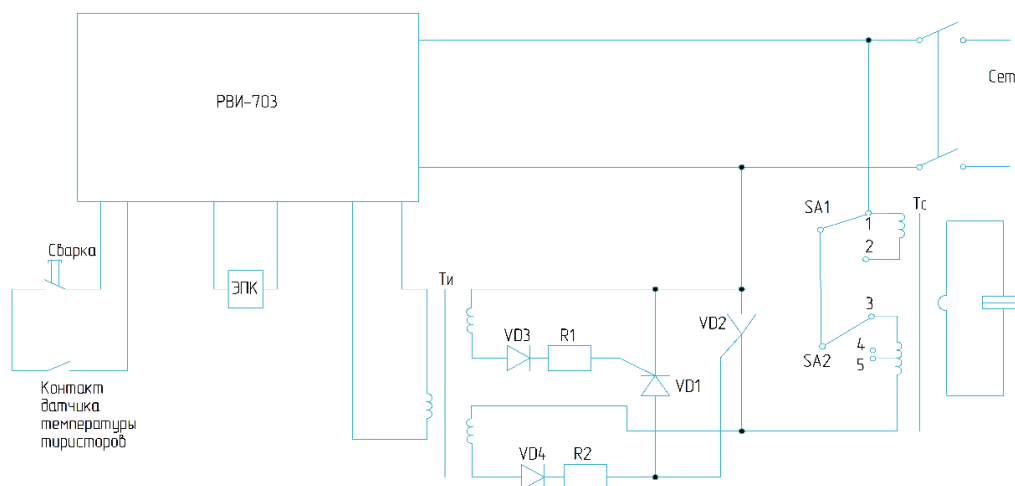


Рисунок 1 – Функциональная схема подвесной точечной машины

На рисунке 1 приведена функциональная схема подвесной точечной машины.

Эта схема работает следующим образом:

1) Сварочный трансформатор:

1.1) Первичная обмотка подключена к сети и имеет отводы. Что позволяет ступенчато регулировать сварочный ток с помощью переключателей.

1.2) Вторичная обмотка имеет всего 1 или 2 витка для получения большого сварочного тока низкого напряжения.

2) Тиристорный контактор: Два тиристора включены встречно-параллельно в цепь первичной обмотки трансформатора.

3) Система управления: Управляющие импульсы приходят из регулятора цикла сварки.

Схема работы на предприятии с использованием контактной сварки включает в себя этапы: обработка поверхности, подача электротока, охлаждение места крепления, сдавливание металла. В зависимости от вида контактной сварки (шовная, стыковая, точечная) схема может отличаться.

Недостатки контактной сварки могут быть связаны с техникой безопасности, дефектами, с особенностями технологии и оборудованием.

Некоторые недостатки контактной сварки:

1) Технология: Необходимость плавного наращивания импульсов тока чтобы избежать возникновения брызг металла, ограничения по толщине деталей, необходимость в мощном источнике питания, при подготовке требуется подгонка деталей с высокой точностью, высокая стоимость оборудования.

2) Дефекты: прожиг металла, потемнение сварочной точки, трещины, выброс расплавленного металла из точки сварки.

3) Оборудование: Узкая специализация, износ электродов, нестабильность сварочного тока.

Структурная схема контактной сварки различается в зависимости от вида процесса: точечная, рельефная, стыковая, шовная.

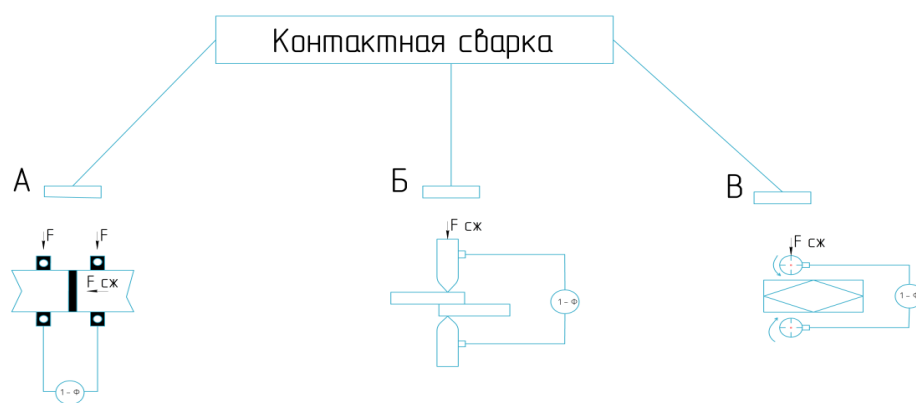


Рисунок 2 – Структурная схема контактной сварки

А) Стыковая: детали соединяются по всей площади касания.

Б) Точечная: детали свариваются по отдельным участкам касания.

В) Шовная: детали соединяются швом, состоящих из ряда отдельных сварных точек, частично перекрывающих одна другую.

Таким образом, внедрение автоматизации в процессы контактной сварки является ключевым фактором эффективности производства и качества выпус-

каемой продукции. Переход от ручного управления к программно-управляемым комплексам позволяет не только минимизировать влияние человеческого фактора, но и обеспечить стабильных параметров сварки. Современные системы автоматизации, включая адаптивные алгоритмы управления и технологическое зрение, дают возможность контролировать качество сварного соединения в реальном времени. Это приводит к значительному уменьшению брака при выпуске, увеличивает ресурс и экономит электроэнергию. Таким образом автоматизация становится необходимым условием для того чтобы конкурировать в выпуске качественной продукции например для автомобилестроения, приборостроения и т.д.

Список литературы

1. Ещенко, С. Е. Структура и управление манипуляционных систем технологических роботов при лазерной резке объектов / С. Е. Ещенко, А. А. Мещерякова // Актуальные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах : материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов и Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Воронеж, 2025. – С. 346-352.
2. Hi-News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-snega-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465>(дата обращения: 03.03.2026).

References

1. Eshchenko, S. E. Structure and Control of Manipulative Systems of Technological Robots in Laser Cutting of Objects / S. E. Eshchenko, A. A. Meshcheryakova // Actual Problems of Automation, Robotics, and Control in Technical, Organizational, and Economic Systems : materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Teachers and Specialists and the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists. – Voronezh, 2025. – Pp. 346-352.
2. Hi-News.ru. – URL: <https://hi-news.ru/technology/sozdan-robot-dlya-avtomaticheskoy-ochistki-snega-na-bolshix-territoriyah.html?ysclid=m8ww2gitvd548624465> (date of appeal: 03.03.2026).