

АЛГОРИТМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ И МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ В РЕЗУЛЬТАТЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ СЦЕН В ПРОЦЕССЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОСВАРКИ

Ивановский С.П., Долотов К.С.

*Московский государственный технологический университет "СТАНКИН",
Москва*

Ключевые слова: автоматическое отслеживание сварного шва, точность сварочной траектории, погонная энергия.

Аннотация. Данная статья рассматривает проблему точности планирования траектории движения в процессе сварки сталей с применением робототехнологического комплекса сборки (РТК). Современные требования к параметрам заготовок подчеркивают необходимость высокой точности изготовления и базирования. Однако, проблемы с неправильным определением расстояния до объекта и невозможностью точного разделения и позиционирования заготовок приводят к недостаточной идентичности готовых изделий. Для решения выше изложенной проблемы рассматривается алгоритм автоматического отслеживания положения сварочного шва с использованием методов машинного зрения и данных от технологического оборудования. Авторы подчеркивают важность высокоскоростных интерфейсов для сопряжения систем управления роботом и оборудованием в реальном времени. Представленный алгоритм обеспечивает точное перемещение электрода как в плоскости шва, так и по нормали к плоскости сварного шва, что является ключевым для качественной сварки. Применение данного подхода может значительно улучшить качество сварных швов при роботизированной сварке, особенно в условиях ограниченной точности разделения заготовок.

THE ALGORITHM FOR INTELLIGENT PLANNING OF MOTION TRAJECTORIES FOR EXECUTIVE MECHANISMS OF ROBOTIC AND MECHATRONIC SYSTEMS THROUGH THREE-DIMENSIONAL SCENE RECONSTRUCTION IN ROBOTIC ARC WELDING

Ivanovsky S.P., Dolotov K.S.

Moscow State University of Technology "STANKIN", Moscow

Keywords: automatic weld seam tracking, welding trajectory, accuracy heat input.

Abstract. This article discusses the problem of trajectory planning accuracy in the process of welding steel using a robotic assembly complex (RAC). Modern requirements for workpiece parameters emphasize the need for high precision manufacturing and positioning. However, issues with incorrectly determining the distance to the object and the inability to accurately separate and position workpieces by highly skilled welders result in insufficient product consistency. To address the aforementioned problem, an algorithm for automatic tracking of the weld position using machine vision methods and data from the technological equipment is proposed. The authors emphasize the importance of high-speed interfaces for real-time integration between the robot control system and the equipment. The presented algorithm ensures accurate movement of the electrode both in the plane of the weld and normal to the plane of the weld, which is crucial for high-quality welding. The application of this approach can significantly improve the quality of welds in robotic welding, especially in conditions of limited workpiece separation accuracy.

Современные требования к параметрам заготовок для сварки изделий из стали с применением РТК предполагают высокую точность изготовления, базирования и идентичность. Однако существует проблема в снижении точности планирования траектории движения, вызванная наличием некорректных данных из-за неправильного определения расстояния до объекта [1]. В реальном производстве корпусных крупногабаритных изделий из листовых материалов существует проблема, связанная с невозможностью точного разделения и однозначного позиционирования заготовок, которые решаются применением ручного труда с привлечением электросварщиков высокой квалификации [2]. Это приводит к недостаточной идентичности готовых изделий, непрогнозируемым дефектам сварки, кроме того, в процессе сварки выделяются вредные для здоровья вещества (оксиды марганца, хрома и другие высокотоксичные соединения), поэтому задача автоматизации сварки имеет важное значение.

Совместно с методами машинного зрения и распознавания образов применяются также алгоритмы планирования траектории на основании данных, получаемых от технологического оборудования. Оптимальным условием для получения таких данных являются наличие высокоскоростных интерфейсов для сопряжения систем управления технологическим роботом и оборудованием в режиме реального времени и возможность обработки данных в цифровом домене со скоростью, необходимой для реализации технологического процесса [3].

Для обеспечения качественного сваривания заготовок в процессе электросварки необходимо обеспечить точное перемещение электрода (конца сварочной проволоки) как в плоскости шва относительно его медианы, так и по нормали к плоскости сварного шва. При сваривании больших заготовок погрешности их разделения приводят к существенной неопределённости в положении сварного шва. В этих случаях качественная сварка с использованием РТК возможна только при автоматическом отслеживании роботом положения сварного шва в пространстве.

Сварочный шов на свариваемых заготовках обычно представляет собой канавку, поперечное сечение которой приведено на рисунке 1.

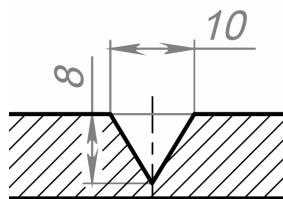


Рис. 7. Поперечное сечение канавки шва на свариваемых заготовках

В основе алгоритма отслеживания шва лежит зависимость сварочного тока от величины зазора между электродом и поверхностью заготовки. При поперечном перемещении электрода в плоскости шва величина тока меняется в соответствии с профилем канавки, возрастая при приближении к её краям. При этом изменение значения тока составляет до 15% от его минимальной величины. В этом случае определение минимума текущего сварочного тока I_m при поперечном колебательном движении электрода в плоскости шва позволяет отслеживать положение медианы шва в процессе сварки (рис. 2).

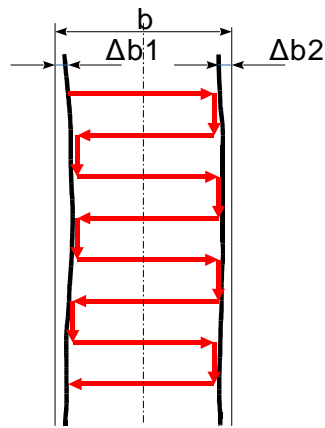


Рис. 8. Поперечные колебательные движения электрода при отслеживании медианы сварочного шва в процессе сварки

Например, при сварке листа толщиной 10 мм и глубине канавки в пределах 7-8 мм возможны поперечные колебания электрода с амплитудой до 10 мм и шагом вдоль шва 0,5-1 мм. Общая скорость перемещения электрода вдоль шва при этом составляет 3 м/мин, скорости подачи проволоки – 4 м/мин.

Отклонение реального положения канавки по нормали к идеальной плоскости сварного шва может быть отслежено путём измерения среднего сварочного тока I_c за период наложенных колебаний. Поднятие канавки относительно плоскости приведёт к увеличению среднего тока, а опускание к его уменьшению.

Режимы сварки задаются исходя из величины погонной энергии. Желательные значения погонной энергии:

- 0,5-0,6 кДж/мм для корневого прохода (возможно повышение до 0,7);
- 1,0-1,2 кДж/мм для заполняющих слоев.

Оптимальными являются следующие параметры (табл. 1).

Табл. 1. Оптимальные параметры сварки

Слой	I , А	U , В	V , м/мин
корень	150	26,8	3
заполнение	180	28,2	1,3

Перемещение электрода вдоль шва с наложением поперечных колебаний в процессе сварки осуществляется 6-ступенным сварочным роботом. Наложение колебаний на траекторию и отслеживание шва при измерении сварочного тока происходит в системе координат заготовки T_z , ориентированной вдоль текущего направления канавки. В этом случае коррекцию программной траектории электрода при управлении роботом также необходимо проводить в системе координат заготовки, с последующим преобразованием скорректированной траектории в базовую систему координат робота T_p . Далее полученная траектория электрода преобразуется в обобщённые координаты робота для её отработки. Общий алгоритм адаптивного управления роботом в процессе сварки представлен на рисунке 3.

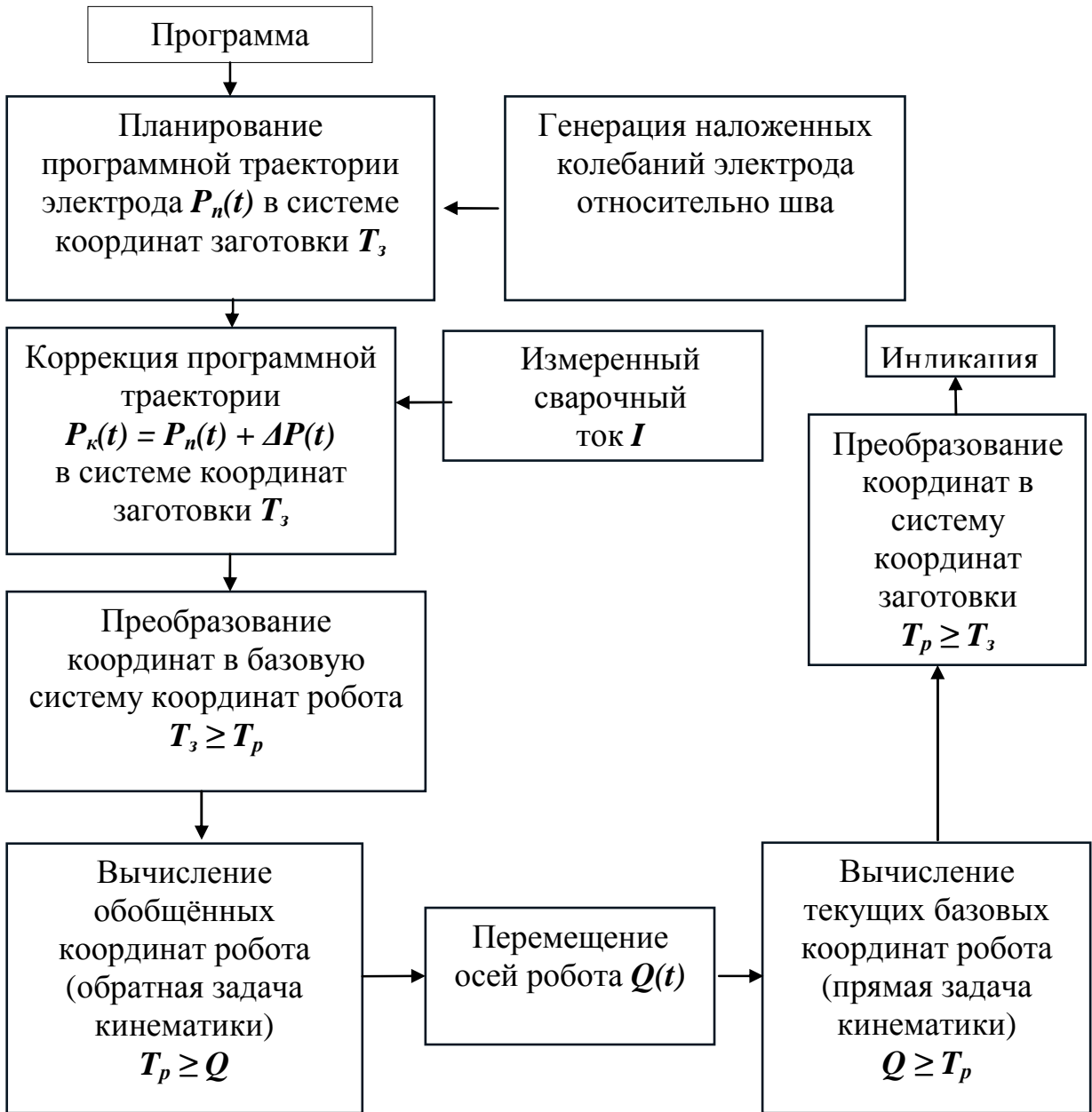


Рис. 3. Алгоритм адаптивного управления траекторией движения электрода

Коррекция программной траектории осуществляется в системе координат T_3 одновременно по двум осям: коррекция в плоскости шва Δy , обеспечивающая минимизацию текущего сварочного тока поперёк шва, и коррекция по нормали к плоскости шва Δz , обеспечивающая стабилизацию среднего тока вдоль шва. Алгоритм коррекции программной траектории представлен на рисунке 4.

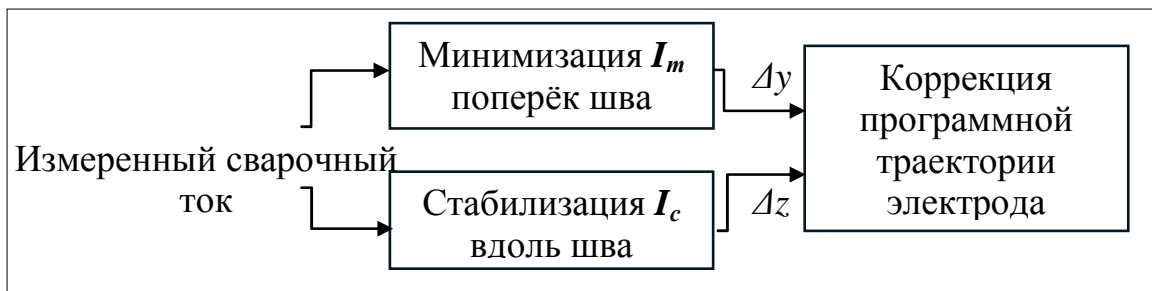


Рис. 4. Алгоритм коррекции программной траекторией электрода

Скорректированная таким образом траектория электрода будет отслеживать реальное положение сварочной канавки, обеспечивая наилучшее качество сварки крупногабаритных изделий.

Сочетание указанного алгоритма с методами машинного зрения и распознавания образов позволит отказаться от использования ручного труда и существенно повысить качество сварных швов при сваривании листовых материалов в случаях, когда разделение и базирование заготовок не может быть выполнена с высокой точностью и идентичностью, необходимых для выполнения работ при роботизированной сварке.

Список литературы

1. Поезжаева Е.В., Сергеев А.А., Мисюров М.Н. Адаптивная интеллектуальная система отслеживания шва в реальном времени при роботизации сварки // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. – Т. 17, № 6-2. – С. 582-584.
2. Шолохов М.А., Брэгер Т., Мельников А.Ю., Бузорина Д.С., Зверев С.И., Полевой И.О. Эффективность внедрения роботизированной сварки при изготовлении элементов электровозов // Сварка и диагностика. – 2020. – № 6. – С. 51-56.
3. Шоланов К.С. Основы мехатроники и робототехники – Учебник для студентов технических специальностей вузов Казахстана. – Алматы: Изд-во "ЭВЕРО", 2015. – 126 с.

Сведения об авторах:

Ивановский Станислав Павлович – к.т.н., ведущий научный сотрудник;

Долотов Константин Сергеевич – к.т.н., ведущий научный сотрудник.