

ОБЗОР МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ СБОРОЧНО-СВАРОЧНЫМИ ПРОЦЕССАМИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Шилов А.В.

Южный федеральный университет, Таганрог

Ключевые слова: сварочный манипулятор, управление манипулятором, автоматизированная сварка, интеллектуальное управление, качество сварки, машинное зрение.

Аннотация. В статье проводится обзор и анализ работ в области автоматизированной сварки конструкций сложной формы. По результатам обзора делается вывод о значительном потенциале повышения качества автоматизированной сварки. Для конструкций сложной формы ручная доработка может составлять до 30% всех работ. В этой связи формулируются задачи, которые необходимо решить для решения рассматриваемой проблемы.

REVIEW OF METHODS AND ALGORITHMS FOR CONTROLLING ROBOTIC ASSEMBLY AND WELDING PROCESSES IN THE MANUFACTURE OF COMPLEX-SHAPED PRODUCTS

Shilov A. V.

Southern Federal University, Taganrog

Keywords: welding manipulator, manipulator control, automated welding, intelligent control, welding quality, machine vision.

Abstract. This article provides a review and analysis of papers in the field of automated welding of complex-shaped products. The review concludes that there is significant potential for improving the quality of automated welding. For complex-shaped products, manual rework can account for up to 30% of all work. Therefore, the challenges that need to be addressed to solve this problem are identified.

Введение. На многих предприятиях в процессе изготовления металлоконструкций используются сварочные с сборочные манипуляторы, снабженные системой технического зрения. Применение таких манипуляторов позволяет повысить производительность труда и качество выпускаемой продукции. Однако существует ряд проблем, ограничивающих эффекты от автоматизации процессов сварки.

Первой проблемой является недостаточная эффективность системы технического зрения (СТЗ), которая не в состоянии надежно определять качество сварного шва в производственных условиях. Требуется наличие СТЗ, которая автоматически в реальном времени распознает сварочные швы и классифицирует их на классы, например «удовлетворяет заданным требованиям» и «не удовлетворяет заданным требованиям».

Вторая проблема заключается в том, что значительная доля ручного труда тратится на рутинные операции по перемещению деталей, в частности при съеме и установке свариваемых деталей на стапели. Для решения этой проблемы могут быть задействованы роботы-манипуляторы, обеспечивающие точное позиционирование перемещаемых деталей, а также способные обеспечить приемлемое быстродействие этого перемещения без потери точности ниже

заданного значения. В этой связи актуальна разработка относительно недорогой системы управления роботами-манипуляторами и соответствующего собственного программного обеспечения для решения специфических поставленных задач.

Третья проблема заключается в необходимости интегрирования программно-аппаратного модуля системы технического зрения и программно-аппаратного модуля робота-манипулятора в единую систему управления станочного, конвейерного и манипуляционного оборудования, задействованного при выполнении поставленных задач по обработке металлоконструкций, прежде всего, сварки.

Далее проведем обзор российской литературы в области автоматизации сварочных процессов.

Обзор литературных источников. Обзор работ в библиотеке elibrary.ru позволяет сделать вывод об активной работе исследователей в области автоматизации процессов сварки.

В работах [1, 2] исследуются вопросы применения машинного зрения в сварочных манипуляторах. В [1] предлагается программа для видеосистемы калибровки сварочного манипулятора. Отмечается эффект повышения точности за счет нейронной сети. В работе [2] экспериментально приведены результаты проверки процесса контроля качества сварки в реальном времени с использованием машинного зрения. Показана возможность отслеживать положение горелки в реальном времени и сигнализировать об отклонениях. Это позволяет сократить время наладки, повысить точность и адаптивность к сложным деталям.

В статьях [3-7] исследуются вопросы применения многофункциональных сборочно-сварочных манипуляторов (МФССМ) как альтернативы поточных линий в судостроительной отрасли. Делаются выводы о преимуществах использования МФССМ при мелкосерийном производстве, а также разрабатываются предложения по конструкции соответствующих манипуляторов и по оптимизации технологических процессов сборочно-сварочного производства.

В работах [8-12] проводится разработка робототехнических комплексов для сварочных работ в различных специальных прикладных областях. В [12] проектируется кинематическая схема и геометрические параметры специализированного сварочного манипулятора под сварочную горелку. В работе [9] исследуется автоматизация перемещения электродов в дуговых сталеплавильных печах. Статья [10] посвящена усовершенствованию сварочного манипулятора для сварки корпусов газовых фильтров. В [11] предлагается конструкция манипулятора для сварки круговых швов. В работе [12] разработан роботизированный комплекс для дуговой наплавки хромоникелевой проволокой на торец рельсов и крестовин. Работы [8-12] указывают на тот факт, что наибольшую эффективность можно достичь путем проектирования специализированных манипуляторов, которые учитывают все особенности технологического процесса.

Работы [13-15] посвящены вопросам моделирования и управления сварочными манипуляторами. В [13] представлен симулятор, который позволяет эффективно формировать профессиональные компетенции в области

программирования сварочных манипуляторов. В работе [14] рассмотрены методы адаптивного управления для сварочных роботов. Описаны два класса задач геометрической адаптации: установочная (начальная) адаптация (определение базовых точек до сварки) и текущая адаптация (корректировка траектории в реальном времени). Отмечена необходимость компенсации случайных отклонений из-за неточной подготовки деталей. В статье [15] описывается опыт реализации автоматизированной системы на основе сварочного манипулятора.

Выводы. Результаты анализа позволяют сделать следующие выводы.

1. Эффективная автоматизация сварочных процессов требует учета большого числа особенностей технологического процесса. При этом требуется комплексная конструктивная, системная, алгоритмическая и программная разработка, учитывающая экономические ограничения и существующий технологический процесс.

2. Манипуляторы должны оснащаться системой машинного зрения, формирующей обратную связь, что позволяет управлять траекторией движения и оценивать качество сварки в реальном времени.

Проблема повышения качества автоматизированной сварки конструкций сложной формы путем разработки методов и алгоритмов интеллектуального управления сварочными манипуляторами сводится к решению задач:

1) анализ и оптимизация технологического процесса автоматизированной сварки и используемых конструктивных решений;

2) разработка метода и алгоритмов машинного зрения для контроля качества процесса сварки в реальном времени;

3) разработка метода и алгоритмов управления автоматизированным сварочным манипулятором;

4) экспериментальная апробация разработанных методов и алгоритмов.

Основным критерием качества является процент сварки, требующей ручной доработки.

В настоящее время сложные стапели с большим количеством элементов подходят только для сборки сварной конструкции на прихватках с дальнейшей сваркой в упрощенном стапеле с минимумом креплений, установленном на поворотном позиционере. Такой подход освобождает сварные швы для лучшего позиционирования сварочной горелки, открывает видимость шва для сканирования и избавляет от применения различных видов горелок и дополнительной оснастки. Такая тактика роботизированной сварки используется в мире в большинстве случаев. Например, стапель для сварки стандартной детали не требует деления, так как конструкция простая и не создает помехи для работы горелки со сканером, а при сварке сложных профилей стапель мешает работе сканера, а сканер мешает сварочной горелке.

Постоянная работа со сканером (система машинного зрения) и роботом поможет создать и постоянно совершенствовать рабочую базу взаимосвязи между ними, с каждым разом улучшая, упрощая и ускоряя программирование различных сварных конструкций.

Круговые швы при необходимости требуется сканировать заранее, но при правильной настройке фокусного расстояния сканера и параметров определения

сварных швов, возможно ускорение сканирования, и тем самым получения качественного кругового шва с минимальными потерями по времени.

Как правило, в результате разработки необходимо исследовать несколько вариантов реализации системы управления и соответственно состава и организации технологического процесса промышленной сварки сложных металлоконструкций с разными требованиями для разных соотношений между ценой и качеством и заданных технических требований.

Кроме того, технология, подлежащая разработке, может предполагать выработку рекомендаций по аппаратному переоснащению оборудования технологического цикла заданного производства со сварными процессами, например, в отношении некоторых сило-моментных, инерционных и сопряженных с ними геометрических параметров такого оборудования, а также материалов, используемых при изготовлении некоторых его частей – с целью улучшения технико-экономических показателей производства.

Список литературы

1. Кайзер Д.С., Гребенников Е.В., Пятаев Д.А. Разработка нейронной сети для видеосистемы калибровки сварочного манипулятора // Вопросы устойчивого развития общества. – 2022. – №2. – С. 246-249.
2. Коренцов Н.А. Экспериментальное исследование автоматизированного сварочного места, модернизированного машинным зрением // Современная наука и техника: Теории и практики: Сборник научных статей. – СПб.: Изд-во «Шелест», 2025. – С. 106-109.
3. Щеголева О.А., Бурмистрова А.Е., Бурмистров Е.Г. Поточная линия или многофункциональный сборочно-сварочный манипулятор? // Судостроение. – 2024. – №2(873). – С. 15-20.
4. Щеголева О.А. Разработка рабочих гипотез функционирования комплексно-механизированного сборочно-сварочного манипулятора и варианты его конструктивной схемы // Транспорт. Горизонты развития: Труды 4-го Международного научно-промышленного форума. – Нижний Новгород: Изд-во Волжского государственного университета водного транспорта, 2024. – С. 105.
5. Щеголева О.А., Бурмистрова А.Е. Анализ технологических процессов изготовления корпусных конструкций с использованием сборочно-сварочного манипулятора // Транспорт. Горизонты развития: Труды 4-го Международного научно-промышленного форума. – Нижний Новгород, Изд-во Волжского государственного университета водного транспорта, 2024. – С. 128.
6. Щеголева О.А., Бурмистров Е.Г., Плюшаев В.И., Федосенко Ю.С. К вопросу об импортозамещении основного технологического оборудования для сборочно-сварочного производства российских верфей // Морские интеллектуальные технологии. – 2024. – №4(66), часть 2. – С. 53-63.
7. Бурмистров Е.Г., Щеголева О.А., Бурмистрова А.Е. Перспективы замены поточных линий в цехах верфей многофункциональными сборочно-сварочными манипуляторами // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2023. – №15(2). – С. 272-281.
8. Певнев В.Г., Залазаева А.К. Разработка прототипа робототехнического комплекса для сварочных работ (проектирование манипулятора) // Тезисы докладов IX Региональной научно-технической конференции, посвященной 100-летию Л.Г. Злотниковой. – М.: Изд-во Губкинского университета в решении вопросов нефтегазовой отрасли России, 2025. – С. 357.
9. Борисова М.А., Лебедев Т.С. Исследование системы автоматизации перемещения электродов // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство. Материалы XX Всероссийской научно-практической конференции. – Старый Оскол: Старооскольский технологический институт (филиал) Федерального

- государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2024. – С. 351-357.
10. Джевага Е.В., Перинская И.В. Усовершенствование технологической оснастки для проведения процесса сборки-сварки корпуса фильтра газового // Молодежь и системная модернизация страны. Сборник научных статей 8-й Международной научной конференции студентов и молодых ученых. В 4-х томах. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2024. – С. 189-194.
 11. Сгибнев М.Д., Корж А.С., Семенов А.Ю., Ястребов Д.П., Швецов В.А. Разработка сварочного позиционера малой грузоподъемности // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование. Материалы XV Национальной (всероссийской) научно-практической конференции. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, – 2024. – С. 242-245.
 12. Тихомиров Е.О. Особая механизированная установка для дуговой наплавки торца рельса // Всероссийские студенческие ломоносовские чтения – 2023. Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская И.И.), 2023. – С. 283-290.
 13. Ильященко Д.П. Сварочный тренажер "Welding Simulator" // Металлургия: технологии, управление, инновации, качество. Труды XVIII Всероссийской научно-практической конференции. – Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2014. – С. 314-318.
 14. Брейдо И.В., Жабелова Г.А. Принципы адаптивного управления электроприводами сварочного робота-манипулятора // Автоматика. Информатика. – 2007. – №1-2(20-21). – С. 38-40.
 15. Малый Л.В., Большаков А.А. Реализация автоматизированной системы управления сварочным манипулятором // Математические методы в технике и технологиях - ММТТ. – 2015. – №9(79). – С. 191-195.

Сведения об авторе:

Шилов Алексей Викторович – аспирант.