

УДК 621.791.927.5

Устранение проблемы начала движения робота после зажигания дуги

Орлов Валерий Кириллович

valera.orlov526@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена и решена проблема начала движения роботизированной сварочной ячейки после зажигания дуги, в результате которой робот ожидал обратного сигнала от источника питания на движение с зажженной дугой. В ходе ожидания сигнала от источника, которое доходило до двух секунд, формировался излишне наплавленный металл, представляющий собой локальное увеличение высоты и ширины наплаваемого валика в месте зажигания дуги по сравнению с геометрическими параметрами остальной части валика. Это не только снижало качество наплавленного слоя, но и значительно затрудняло проведение экспериментов, связанных с технологией WAAM. Установлено, что причина дефекта связана с особенностью подключения промышленного робота и источника питания и как следствие некорректно заданными параметрами регистрации дуги.

Ключевые слова: роботизированная сварка, программирование сварочного робота, CMT, WAAM, промышленная робототехника, аддитивные технологии

Fixing the problem of robot starting to move after arc ignition

Orlov Valerii Kirillovich

valera.orlov526@gmail.com

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The article considers and solves the problem of the start of the robotic welding cell movement after the arc ignition, as a result of which the robot waited for a return signal from the power source to move with the ignited arc. During the wait for the signal from the source, which lasted up to two seconds, excessively deposited metal was formed, which was a local increase in the height and width of the deposited bead at the point of arc ignition compared to the geometric parameters of the rest of the bead. This not only reduced the quality of the deposited layer, but also significantly complicated the experiments related to WAAM technology. It was found that the cause of the defect is associated with the peculiarities of the connection of the industrial robot and the power source and, as a result, incorrectly set arc registration parameters.

Keywords: robotic welding, welding robot programming, CMT, WAAM, industrial robotics, additive manufacturing

Введение. Проволочное электродуговое аддитивное производство (Wire Arc Additive Manufacturing, WAAM) находят все более широкое применение в машиностроении, авиационной и судостроительной промышленности благодаря возможности формирования крупных металлических изделий с мини-

мальными отходами материала [1, 2]. Вместе с тем использование роботизированных комплексов с источниками питания, подключенными по аналоговой связи, сопровождается технологическими трудностями. Наиболее существенной из них является избыточное наплавление металла в начале шва, что значительно препятствует наплавке последующих слоев и, в частности, вследствие каскадного роста данного дефекта от слоя к слою делает невозможным дальнейшее продолжение аддитивного процесса. Целью данной работы является выявление причин данного явления и его устранения посредством корректировки логики промышленного робота.

Материалы и методы. Для проведения исследований использовалось следующее оборудование:

1. Источник питания Fronius TPS 400i.

2. Робот-манипулятор Yueda в комплекте с контроллером и пультом управления.

3. Позиционер.

В качестве материалов были использованы:

1. Защитный газ: Аргон первого сорта [3].

2. Проволока ER5356, диаметр 1,2 мм.

3. Подложка АМг2 толщиной 3 мм.

4. Струбцины — 2 шт.

5. Упоры сварочные — 2 шт.

В ходе работы были установлены следующие технологические режимы:

Вылет электродной проволоки: 14 мм от торца сопла до поверхности подложки (или предыдущего слоя).

Угол наклона горелки: 90° (перпендикулярно поверхности наплавляемого валика).

Сила тока — 100 А, Напряжение на дуге — 14,6 В.

Заварка кратера была отключена в целях нивелирования описанного дефекта при наплавке стенки со сменой направления движения горелки в каждом слое.

Для определения механизма данного явления была проведена съемка со скоростью 240 кадров/с, т. е. с замедлением в 4 раза. Движение горелки осуществлялось слева направо. Положение камеры оставалось статичным на всем протяжении съемки. Значения начального тока были уменьшены до 20 А, что позволило снизить объем наплавляемого металла, в частности в зоне зарождения дефекта, а также зафиксировать процесс формирования капли.

Для определения влияния параметра Acceleration (А), т. е. ускорения робота в момент начала движения, было постепенно увеличено его значение от 50 % (по умолчанию) до 100 % [4]. Шаг, с которым производилось увеличение составлял 10 %, после каждого изменения значения А проводилась наплавка и измерение высоты и ширины дефектного участка, которому соответствовала задержка в движении робота.

Для определения влияния параметров, связанных с зажиганием дуги и ее регистрацией, варьировались следующие параметры: 1) Arc ignition de-

tection time (AIDT) — Время обнаружения обрыва дуги; 2) Jog wire feed time (JWFT) — Время подачи проволоки перед зажиганием дуги; 3) Jog gas sending time (JGST) — Время на подачу газа. Значение переменных варьировалось от 0 до 10 с.

Результаты. Полученные кадры (рис. 1) показывают, что существует временной интервал равный двум секундам между зажиганием дуги и началом движения робота, вследствие которого происходит наплавка в одну точку, а именно в точку, с которой робот должен начать движение с зажженной дугой.



Рис. 1. Ключевые кадры полученные при замедленной съемке

Геометрические параметры валика были определены на основе трех измерений с использованием цифрового штангенциркуля. Высота валика с излишне наплавленным металлом составила 3,7 мм, а ширина 5,9 мм, в то время как для остальной части валика высота составляла 3,2 мм, а ширина 5,3 мм.

Результаты измерения ширины и высоты валика на дефектном участке с изменением значений ускорения A , представлены в табл. 1

Таблица 1

Влияния параметра Acceleration (A) на дефектный участок

Значение параметра Acceleration	e , мм	h , мм
$A = 50 \%$	5,9	3,7
$A = 60 \%$	5,9	3,7
$A = 70 \%$	5,9	3,6
$A = 80 \%$	5,8	3,7
$A = 90 \%$	5,8	3,7
$A = 100 \%$	5,8	3,7

При изменении параметров AIDT, JWFT, JGST был сделан вывод, что нельзя понижать параметр AIDT ниже 1 сек, т. к. очень сильно возрастает вероятность ошибки зажигания дуги, когда робот вовсе не может зажечь дугу. Учитывая данный факт, была подобрана следующая комбинация параметров, представленная в табл. 2, при этом остальные параметры остались заданными производителем по умолчанию

Таблица 2

Подобранные значения Welding Setting

Параметр	Значение
Arc breaking detection time, сек	0,2
Arc ignition detection time, сек	1
Arc ignition duration, сек	0
Jog wire feed time, сек	0,3
Jog wire return time, сек	0,4
Jog gas sending time, сек	0,2
Arc depletion time, сек	0

Наплавка с подобранными параметрами Welding Setting позволила устранить задержку в движении робота. Высота валика в месте устраненного дефекта наплавки составила 3,3 мм, а ширина 4 мм, в то время как для остальной части валика высота составляла 3,2 мм, а ширина 5,3 мм.

Обсуждение. В случаях, когда происходила задержка в движении робота излишнее наплавленный металл наблюдался в первых 3...5 мм от начала валика. Высота и ширина таких участков превышала основную высоту валика, что приводило к осложнениям в наплавке последующих слоев. Данный дефект появлялся уже после наплавки первого валика, а с увеличением количества слоев имел лишь тенденцию к каскадному росту, в последствии не только нарушая общую высоту слоя, но и препятствуя стабильному горению дуги и наплавке. Внешний вид данного дефекта представлен на рис. 2, а, б, а на рис. 2, в показан валик, наплавленный на подобранных параметрах Welding Setting.

По кадрам, полученным в результате замедленной съемки, отметим, что даже после начала движения дуга некоторое время горит в направлении образовавшийся капли, после чего резко меняет свою длину, что говорит о резком изменении напряжения на дуге и возможных дефектах наплавленного материала.

По окончании проведения наплавки с варьированием Acceleration (A) было сделано заключение о отсутствии прямого влияния значения ускорения в момент начала движения на задержку робота, происходящую при наплавке.

В ходе проведения наплавки была замечена закономерность, чем ближе к нулю AIDT, JWFT, JGST тем меньше длительность задержки при наплавке, однако при этом хаотично появляется проблема зажигания дуги, которая свя-

зана с тем, что система регистрирует отсутствие дуги раньше, чем успевает произойти короткое замыкание. При этом функция Re-arcing, т. е. функция повторного зажигания дуги не срабатывает должным образом и процесс наплавки так и не удается запустить.

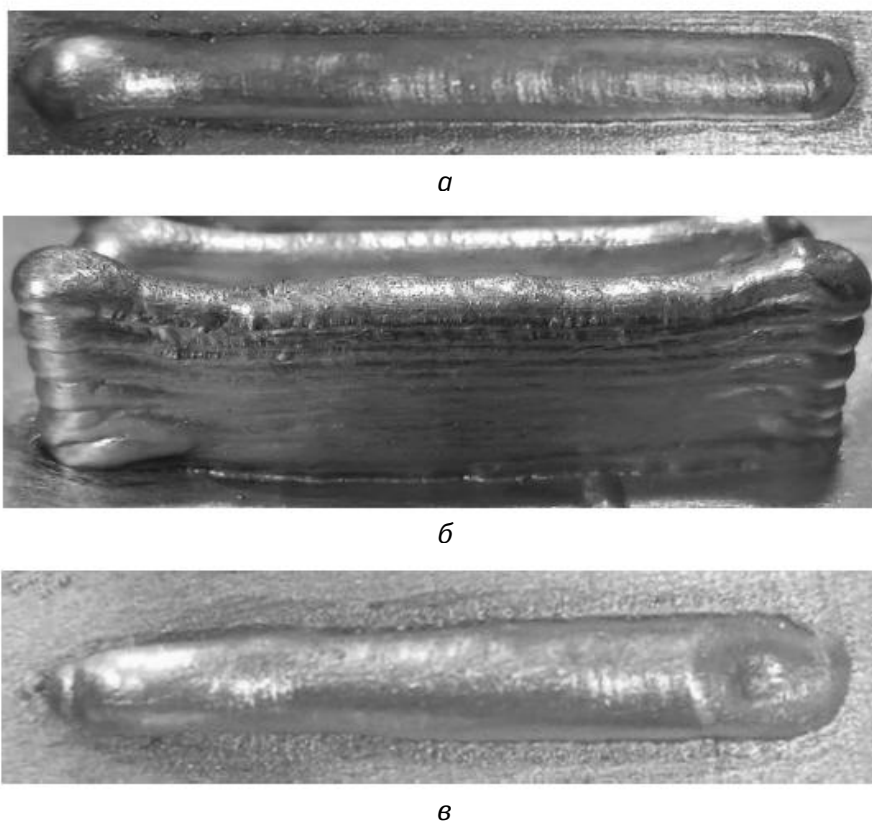


Рис. 2. Внешний вид:

а — наплавленного валика с задержкой при начале движения; б — наплавленной стенки с задержкой при начале движения; в — наплавленного валика без задержки при начале движения

Эта проблема связана с тем, что роботу в независимости от типа подключения сварочного источника необходимо фиксировать появления и исчезновения дуги [5], а так как аналоговое подключение осуществляется компанией интегратором для каждого робота и источника с индивидуально разработанной или адаптированной управляющей платой, то обратная передача сигнала о зажигании дуги могла поступать на робота с опозданием из-за чего робот и ожидает команды на движение с зажженной дугой.

Таким образом для своевременного начала наплавки в контроллере робота должно быть установлено такое сочетание параметров AIDT, JWFT, JGST, чтобы робот успевал не только подавать проволоку и зажигать дугу, но и получать обратную связь от источника питания о успешном зажигании дуги.

Заключение. В ходе проведенного исследования были достигнуты следующие результаты:

Решена практическая задача устранения избыточно наплавленного металла в месте зажигания дуги, вызванного задержкой начала движения робота после зажигания дуги. Настройка параметров синхронизации «Welding

Setting» позволила снизить высоту дефектного участка до уровня основной части валика (3,2–3,3 мм), обеспечив стабильность наплавки и возможность продолжения экспериментов со стенками с перекрестиями.

Недостаток ширины начальной зоны планируется компенсировать введением в режим наплавки «горячего старта» и плавного нарастания тока

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- [1] Ding D., Pan Z., Cuiuri D., Li H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2015, vol. 81 (1–4), 465–481. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7077-3>
- [2] Wang Y., Chen X. A Review of the Development Status of Wire Arc Additive Manufacturing Technology. *ResearchGate*, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00170-024-13254-6>
- [3] ГОСТ 10157–2016. Аргон газообразный и жидкий. Технические условия. Москва, Стандартинформ, 2019.
- [4] Климов А.С., Машнин Н.Е. *Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 122 с.
- [5] Климов А.С., Машнин Н.Е. *Роботизированные технологические комплексы и автоматические линии в сварке*. Санкт-Петербург, Лань, 2024, 146 с.