

УДК 621.791.927.5

## Влияние смещения траектории наплавки на формирование зоны перекрестия при WAAM-наплавке алюминиевых конструкций

Орлов Валерий Кириллович<sup>(1)</sup>

Магистр 2 года<sup>(1)</sup>,

кафедра «Сварка, диагностика и специальная робототехника»<sup>(1)</sup>

Московский государственный технический университет<sup>(1)</sup>

Научный руководитель: А.С. Панкратов

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Сварка, диагностика и специальная робототехника»

### Введение:

Технология проволочно-дуговой наплавки алюминиевой проволокой активно применяется для изготовления крупногабаритных металлических конструкций, включая топливные баки и корпусные части летательных аппаратов. Особое значение данная технология имеет при производстве вафельных панелей, используемых в обшивке ракетносителей благодаря увеличению коэффициента использования материала вплоть до 90%, что невозможно достичь субтрактивными методами обработки.

При формировании таких конструкций одной из ключевых проблем является наплавка перекрещивающихся элементов, где происходит пересечение валиков под каким-либо углом. В зоне перекрестий наблюдается локальное увеличение наплавленного металла, вызванное наложением валиков. Это приводит к локальному нарушению геометрии, что препятствует равномерному росту слоя и в последствии делает процесс наплавки невозможным. [1,2]

Целью данной работы является исследование влияния величины смещения траектории наплавки относительно двух перпендикулярно расположенных валиков на формирование пересечений и стабильный рост слоя.

### Методика проведения эксперимента:

Проволочно-дуговое выращивание осуществлялось при помощи роботизированного комплекса QJAR и источника питания Fronius TPS i400. В ходе эксперимента применялся режим СМТ, сварочная проволока ER5356 и лист АМг2 размерами 180x70x3 мм. Режим наплавки во всех экспериментах оставался неизменным:

- сварочный ток — 100 А; напряжение 13,8 В
- скорость наплавки первого слоя – 10 мм/с; на последующих слоях – 15 мм/с.

В рамках эксперимента наплавливались перекрещивающиеся под прямым углом стенки. Количество наплавленных слоев 15. Длина каждого прямолинейного участка равнялась 30 мм. Время остывания между слоями 60 сек. Варьируемым параметром являлось смещение траектории второго валика относительно первого (Рис.1). Величину данного смещения можно описать следующим выражением:

$$X = (50...70) \cdot e \% \quad (1)$$

, где  $e$  – ширина одиночного валика

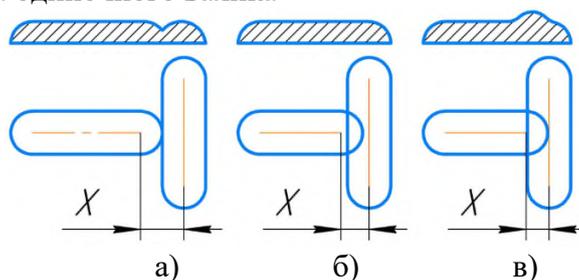


Рис. 1 – Схема наплавки перекрещивающихся стенок:

а) валики образуют углубление; б) валики образуют ровный слой; в) валики образуют выпуклость

В ходе эксперимента были апробированы три значения смещения между перпендикулярно расположенными валиками: 50, 60 и 70% от ширины одиночного валика.

#### Результаты и обсуждение:

Проведённый эксперимент показал, что величина смещения траектории оказывает существенное влияние на формирование зоны перекрестия.

1. При смещении 50% наблюдается стабильное формирование слоя без локального нарушения его высоты в местах пересечения стенок, при 60% также получается приемлемая высота слоя, однако увеличиваются потери материала на припуск. При смещении же 70% уже появляются несплавления между двумя стенками.

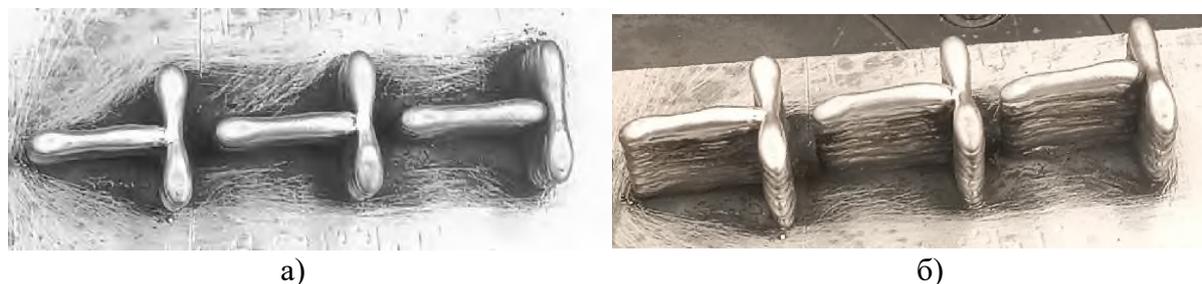


Рис. 2 – Наплавленные перекрестья:

а) вид сверху б) вид сбоку

На рис.2 увеличение смещения происходит слева направо от 50% до 70% с шагом в 10%. Несмотря на наличие 30 секундной остановки процесса перед наплавкой каждого следующего валика в слое, а также 5 минутного прерывания процесса после каждого слоя на рис.2 видно, что по торцам стенок образовалось утолщение, что связано с небольшими размерами пластины и быстрым процессом накопления тепла по торцам стенки. В дальнейшем решении для наплавки таких непротяженных элементов может быть использование системы охлаждения под выращиваемой заготовкой. [3].

Дополнительно установлено, что используемый режим наплавки (100 А, 10 мм/с для первого слоя и 15 мм/с для последующих) обеспечивает стабильное формирование слоя высотой около 2 мм за один проход. Это позволяет сократить количество технологических остановок, связанных с корректировкой положения сварочной горелки, и повысить общую стабильность процесса.

#### Выводы:

1. При смещении 50% наблюдается сохранение высоты наплавляемого слоя
2. Для небольших заготовок необходима водоохлаждаемая оснастка
3. Выбранный режим наплавки обеспечивает стабильное формирование слоёв высотой 2 мм.

#### Список литературы:

1. Giuseppe Venturini, Filippo Monteverchi, Antonio Scippa, Gianni Campatelli, Optimization of WAAM Deposition Patterns for T-crossing Features, Procedia CIRP, Volume 55, 2016, Pages 95-100, ISSN 2212-8271, <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.08.043>.
2. Williams S.W., Martina F., Addison A.C., Ding J., Pardal G., Colegrove P. Wire + Arc Additive Manufacturing // Materials Science and Technology. 2016. Vol. 32. No. 7. pp. 641–647.
3. Ding J., Colegrove P., Mehnen J., Williams S., Wang F., Morgan R. Thermo-mechanical analysis of wire and arc additive layer manufacturing process // Materials Science and Engineering A. 2015. Vol. 639. pp. 19–29.