

УДК 621.791.725:621.791.75

Расчет температурного поля при лазерной сварке с поперечными колебаниями луча

Ильенко Николай Игоревич

ilyenko14@ya.ru

SPIN-код: 7425-2032

Коновалов Алексей Викторович

avk@bmstu.ru

SPIN-код: 8252-5927

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Представлены результаты аналитического моделирования влияния поперечных колебаний лазерного луча на геометрию проплавления при формировании корневого шва труб из стали 10Г2ФБЮ. Увеличение амплитуды осцилляции от 1,5 до 3,0 мм снижает глубину проплавления с 17,7 до 16,4 мм, подтверждая эффект «размазывания» мощности и потенциал подавления дефекта «протек».

Ключевые слова: гибридная лазерно-дуговая сварка, аналитическое моделирование, тепловая задача, температурные поля, форма проплавления

Введение. При гибридной лазерно-дуговой сварке (ГЛДС) корневого шва труб возникает дефект «протек», требующий механической зачистки. Для его подавления предлагается применять поперечные колебания лазера при ГЛДС с целью сбалансировать силы поверхностного натяжения металла жидкой сварочной ванны и давления металлических паров, однако в отечественной литературе отсутствуют проверенные аналитические модели, адаптированные под особенности этого процесса [1–3]. Цель работы — адаптировать тепловую модель [4] для оценки влияния параметров колебаний лазерного луча на геометрию проплавления при моделировании только лазерной части гибридного процесса.

Методы и материалы; результаты. В основу моделирования положена аналитическая тепловая модель Т.В. Ольшанской, разработанная для электронно-лучевой сварки с разверткой луча [4]. Модель использует функции Грина и комбинированный источник тепла. Учитывая физические различия между ЭЛС и ЛС, глубина линейного источника задавалась не эмпирически, а исходя из технологического требования: 18 мм (высота притупления для трубы толщиной 33,4 мм).

Для стационарного луча принят линейный подповерхностный источник длиной 18 мм. При поперечных колебаниях он заменен на прямоугольный источник, ширина которого равна удвоенной амплитуде $A = 1,5\text{--}3,5$ мм. Расчеты выполнены для бесконечной пластины, мощности 10 кВт, скорости сварки $V = 0,5$ м/мин. Дуговая составляющая в модель не включена — исследуется исключительно лазерная часть гибридного процесса.

Результаты моделирования представлены в таблице.

Результаты моделирования формы проплавления

Параметр	Амплитуда, мм	Скорость, м/мин	Глубина, мм	Ширина, мм
Без колебаний	–	0,5	17,7	3,8
Колебания	1,5	0,5	17,7	3,8
Колебания	2,5	0,5	17,0	3,9
Колебания	3,0	0,5	16,4	4,0
Колебания	3,5	0,5	15,5	3,5
Колебания	3,0	0,25	18,7	7,5
Колебания	3,0	1,0	17,9	1,8

Рост амплитуды до 3,0 мм снижает глубину и незначительно увеличивает ширину, подтверждая эффект «размазывания» мощности и стабилизацию парогазового канала [3, 4]. При $A = 3,5$ мм наблюдается чрезмерное рассеивание энергии, согласующееся с рекомендацией не превышать амплитуду более чем на два диаметра канала. Зависимость от скорости типична для лазерной сварки: глубина почти не меняется, ширина резко уменьшается — признак глубинного проплавления [4].

Закключение. Расчеты подтвердили, что поперечные колебания лазерного луча позволяют целенаправленно управлять формой проплавления за счет перераспределения плотности мощности в зоне сварки. Снижение глубины и рост ширины при увеличении амплитуды свидетельствуют о стабилизации парогазового канала и открывают путь к подавлению дефекта «протек» [3, 4]. Результаты заложат основу для экспериментальной верификации модели.

Список источников

- [1] Hao K., Gao M. Effect of beam oscillating behavior on pore inhibition and microstructure evolution mechanisms of laser welded Q235 steel. *Journal of Materials Research and Technology*, 2021, vol. 11, pp. 1816–1827.
- [2] Huang H. et al. Research on weld formation mechanism of laser-MIG arc hybrid welding with butt gap. *Optics & Laser Technology*, 2021, vol. 133, pp. 1–18.
- [3] Wu Y. et al. Narrow Groove Laser-Arc Hybrid Welding of Thick-Sectioned HSLA Steel Using Laser Beam Oscillation. *Welding Journal*, 2022, vol. 101, pp. 181–196.
- [4] Ольшанская Т.В. *Теоретические и технологические основы формирования сварных соединений легированных сталей при электронно-лучевой сварке с разверткой луча*. Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Пермь, 2018.