

УДК 621.791

АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ СВАРКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ ЛУЧА

Ильенко Николай Игоревич

Студент 6 курса

кафедра «Сварка, диагностика и специальная робототехника»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Коновалов, доктор технических наук, профессор кафедры «Сварка, диагностика и специальная робототехника»

Введение. Традиционная многодуговая сварка труб большого диаметра характеризуется высоким тепловложением, ухудшающим механические свойства стали 10Г2ФБЮ. Применение гибридной лазерно-дуговой сварки (ГЛДС) имеет преимущества в виде снижения тепловложения, но осложнено возникновением дефектов процесса, в том числе дефекта «протек», требующего механической зачистки. Для его подавления предлагается применять поперечные колебания лазера с целью балансировки давления металлических паров и сил поверхностного натяжения. Однако в отечественной практике отсутствуют проверенные аналитические модели, адаптированные под этот процесс. Цель работы – адаптировать тепловую модель электронно-лучевой сварки (ЭЛС) для оценки влияния параметров колебаний на геометрию проплавления.

Методы и материалы. В основу положена аналитическая модель Т.В. Ольшанской, разработанная для ЭЛС с разверткой луча [1]. Модель использует функции Грина и комбинированный источник тепла. Учитывая физические различия методов, глубина линейного источника задавалась исходя из технологического требования – 18 мм. Для стационарного луча принят линейный подповерхностный источник, при колебаниях – прямоугольный источник шириной $2A$ ($A = 1,5–3,5$ мм). Расчёты выполнены для пластины толщиной 24 мм, мощности 10 кВт, скорости сварки $V = 0,5$ м/мин.

Результаты. Анализ влияния скорости сварки показал классическую зависимость: при увеличении V с 0,25 до 1 м/мин глубина проплавления изменяется незначительно (с 18,7 до 17,9 мм), тогда как ширина шва уменьшается почти вдвое (с 7,5 до 4,0 мм), что указывает на доминирование глубинного механизма проплавления.

При увеличении амплитуды колебаний от 1,5 до 3,0 мм наблюдается монотонное снижение глубины проплавления с 17,7 до 16,4 мм при незначительном росте ширины шва с 3,8 до 4,0 мм. Эти данные подтверждают гипотезу о «размазывании» мощности по ширине разделки, что способствует стабилизации парогазового канала [2]. Однако при $A = 3,5$ мм происходит снижение как глубины (15,5 мм), так и ширины (3,5 мм) шва, что согласуется с рекомендацией не превышать амплитуду более двух диаметров канала.

Заключение. Расчёты подтвердили, что поперечные колебания позволяют управлять формой проплавления. Выявлены ограничения модели: невозможность учёта разделки кромок методом функций Грина, произвольное задание глубины источника без физически обоснованной зависимости для лазерной сварки, отсутствие экспериментальной базы для верификации. В перспективе планируется проплавка пластин толщиной 24 мм для калибровки модели и определения оптимальных параметров осцилляции.

Литература

1. *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.
 2. *Wu, Y., Li, Z., Wang, X.* Narrow Groove Laser-Arc Hybrid Welding of Thick-Sectioned HSLA Steel Using Laser Beam Oscillation // *Welding Journal*. 2022. Vol. 101. P. 181–196.
-