

УДК 621.791

Сравнительный анализ энергетической эффективности лазерной и электронно-лучевой обработки металлических материалов

Слободян Михаил Степанович

sms.msc@yandex.ru

SPIN-код: 6498-4281

Пестерев Евгений Александрович

e.pesterev@hq.tsc.ru

SPIN-код: 9133-3225

Марков Алексей Борисович

a.markov@hq.tsc.ru

SPIN-код: 4134-9164

Томский научный центр СО РАН, Томск, Россия

Аннотация. Целью настоящего обзорного доклада является обобщение данных об энергоэффективности сварки, поверхностной обработки и аддитивного производства деталей из металлических материалов с использованием лазерных и электронных лучей. В частности, рассмотрены основные типы установок, их коэффициенты полезного действия и ключевые характеристики. Для лазерных лучей оценивается влияние параметров излучения, окружающей среды, продолжительности процесса, а также состояния и температуры поверхностей на поглощение ими передаваемой энергии. Кроме того, подробно обсуждаются основные закономерности формирования и транспортировки электронных лучей, а также передачи их энергии поверхностям обрабатываемых деталей. Особое внимание уделено взаимодействию лазерных и электронных лучей с металлическими порошками при поверхностной наплавке и аддитивном производстве.

Ключевые слова: сварка; наплавка; аддитивное производство; лазер; электронный луч; энергоэффективность

Введение. Лазерные и электронные лучи широко используются в многочисленных процессах обработки металлических материалов (сварка, резка, поверхностная наплавка и т. д.) уже на протяжении семи десятилетий [1]. За этот период они стали как взаимодополняющими, так и конкурирующими технологиями, которые неоднократно подвергались сравнительному анализу. В последние годы основной акцент подобных исследований сместился в сторону методов аддитивного производства [2], особенностью которых является послойная наплавка порошков или проволок. Хотя основные принципы применения лазерных и электронных лучей для подобных целей схожи [3], имеются существенные различия в физических процессах их взаимодействия с металлическими поверхностями, а также необходимых для этого условиях и ключевых параметрах. В настоящем докладе авторы постарались обобщить большинство опубликованных к настоящему времени взаимозависимостей, которые (на их взгляд) следует учитывать при выборе той или иной технологии в каждом конкретном случае.

Результаты. Проведенный сравнительный анализ энергетической эффективности лазерной и электронно-лучевой обработки металлических мате-

риалов на основе 773 источников цитируемой литературы позволил сформировать базу знаний, состоящую из опубликованных зависимостей, непосредственно влияющих на эти процессы. В настоящем докладе кратко представлены основные закономерности и сделанные выводы, в то время как их подробное описание сформулировано на 152 печатных страницах, сопровождаемых 38 таблицами и 201 рисунком в качестве иллюстративного материала (на стадии опубликования).

Заключение. В сформированной базе знаний обобщены данные об энергоэффективности обработки металлических материалов лазерными и электронными лучами в зависимости от используемого оборудования, применяемых параметров и свойств деталей. В частности, рассмотрены основные типы установок, принципы их работы и коэффициенты полезного действия, а также ключевые параметры и пригодность для обозначенных целей. Для лазерных лучей оценено влияние длины волны, поляризации, угла падения, длительности облучения и окружающей атмосферы, а также состояния и температуры металлических поверхностей. Кроме того, подробно обсуждены основные закономерности формирования электронных лучей, их транспортировки к поверхностям обрабатываемых деталей, а также непосредственного взаимодействия ускоренных электронов с металлическими материалами. Особое внимание уделено использованию порошков при поверхностной наплавке и аддитивном производстве. В заключение предложены направления дальнейших исследований, результаты которых будут способствовать более обоснованному выбору оборудования и применяемых параметров в каждом конкретном случае.

*Исследование проведено в рамках государственного задания ТНЦ СО РАН
№ FWRF-2024-0006.*

Список источников

- [1] Namba S., Kim P.H. Electron and laser beam processing. Japanese Journal of Applied Physics, 1964, vol. 3, no. 9, pp. 536–545. <http://doi.org/10.1143/jjap.3.536>
- [2] Patterson T., Hochanadel J., Sutton S., Panton B., Lippold J. A review of high energy density beam processes for welding and additive manufacturing applications. Welding in the World, 2021, vol. 65, pp. 1235–1306. <https://doi.org/10.1007/s40194-021-01116-0>
- [3] Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. *Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник*. Москва, Машиностроение, 1985, 496 с.