

ВЛИЯНИЕ МОЩНОСТИ ЛАЗЕРА И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА

Балякин А. В., Носова Е.А., Олейник М.А., Злобин Е.П.
Самарский университет, г. Самара, balaykinav@ssau.ru

Ключевые слова: Прямое лазерное выращивание; аддитивные технологии; жаропрочный сплав ЭП648; микроструктура; механические свойства; термическая обработка.

Прямое лазерное выращивание (ПЛВ), как один из ключевых методов аддитивного производства, позволяет создавать сложнопрофильные металлические заготовки с высокой точностью и минимальными затратами материала [1–3]. Однако качество изделий, особенно при использовании жаропрочных никелевых сплавов, напрямую зависит от режимов технологического процесса, включая мощность лазера и последующую термическую обработку (ТО). Неполное расплавление порошка или неравномерное распределение температуры могут привести к образованию дефектов — пор, трещин и недостаточной плотности материала, что снижает эксплуатационные характеристики деталей [4].

Целью работы являлось исследование влияния мощности лазера и режимов термической обработки на микроструктуру и механические свойства заготовок из жаропрочного сплава ЭП648, полученных методом ПЛВ.

Методы исследования

Образцы изготавливались на установке ПЛВ с использованием порошкового материала на основе никелевого жаропрочного сплава ЭП648. Исследования проводились при различных значениях мощности лазера: 1200, 1400, 1600, 1800 и 2000 Вт. После изготовления часть образцов подвергалась термической обработке: закалка при $1180 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 4 ч и отжиг при $900 \pm 10^\circ\text{C}$ в течение 16 ч. Для оценки микроструктуры проводилось металлографическое исследование с травлением макро- и микротемплетов. Механические свойства определялись по стандартам ГОСТ 1497 на образцах типа III (номер 7) в долевым и поперечном направлениях относительно направления выращивания.

Основные результаты

Установлено, что увеличение мощности лазера положительно влияет на степень расплавления частиц порошка. При мощности 1200 Вт наблюдались несплавленные частички, которые исчезли при повышении мощности до 1600 Вт и выше. Это связано с достаточным уровнем энергии, обеспечивающим полное расплавление порошка и хорошее смачивание предыдущего слоя. Анализ микроструктуры показал, что после термической обработки происходит уменьшение остаточных напряжений и перераспределение фаз, что способствует улучшению пластических характеристик. Наиболее равномерная структура была получена при мощности 1800 Вт.

По результатам механических испытаний установлено:

- Максимальная прочность достигается при мощности 2000 Вт ($\sigma_b = 975$ МПа).
- Наилучшие показатели пластичности ($\delta = 36\%$) зафиксированы при мощности 1800 Вт.
- После ТО наблюдается увеличение относительного удлинения и снижение твердости, что указывает на снижение внутренних напряжений.

Практическая значимость

Результаты исследования позволяют рекомендовать следующие параметры для получения качественных заготовок из сплава ЭП648:

- Оптимальная мощность лазера: 1800–2000 Вт.
- Обязательная термическая обработка по режиму: закалка при $1180 \pm 10^\circ\text{C}$ + отжиг при $900 \pm 10^\circ\text{C}$.

Эти данные могут быть использованы при разработке технологий аддитивного производства для авиационных двигателей, где важны высокие прочностные и жаропрочные характеристики материалов.

Список литературы

1. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing. Second edition. 2015. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
2. Балякин А. В., Олейник М. А., Злобин Е. П., Скуратов Д. Л. Обзор гибридного аддитивного производства металлических деталей // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2022. – Т. 21, № 2. – С. 48–64. – DOI: 10.18287/2541-7533-2022-21-2-48-64
3. Дмитриева М. О., Мельников А. А., Носова Е. А., Кяримов Р. Р., Кржевицкий Г. Е. Исследование формирования микроструктуры титанового сплава ВТ6 при изготовлении крыльчатки компрессора малоразмерного газотурбинного двигателя методами аддитивных технологий // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т. 30. № 2. С. 196–203. DOI: 10.34759/vst-2023-2-196-203
4. Носова Е. А., Балякин А. В., Олейник М. А. Исследование влияния отжига на микроструктуру и твердость сплава ЭП648 после прямого лазерного выращивания // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2023. – Т. 20. – №. 1. – С. 115–122.

Сведения об авторах

Балякин Андрей Владимирович – кандидат технических наук, доцент, область научных интересов: аддитивные технологии, лазерные методы обработки материалов.

Носова Екатерина Александровна – доктор технических наук, доцент, область научных интересов: материаловедение, аддитивные технологии.

Олейник Максим Андреевич, аспирант кафедры ТПД. Область научных интересов: прямое лазерное выращивание.

Злобин Евгений Петрович, аспирант кафедры ТПД. Область научных интересов: аддитивные технологии.

THE EFFECT OF LASER POWER AND HEAT TREATMENT ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF A HEAT-RESISTANT ALLOY

Balyakin A.V., Nosova E.A., Oleinik M.A., Zlobin E.P.
Samara University, Samara, balaykinav@ssau.ru

Keywords: Direct laser deposition; additive manufacturing; heat-resistant alloy EP648; microstructure; mechanical properties; heat treatment.

The paper presents the results of experimental studies on the effect of laser power and heat treatment on the microstructure and mechanical properties of heat-resistant alloy EP648 samples obtained by direct laser deposition. It is shown that increasing the laser power from 1200 to 2000 W improves the melting degree of powder particles and enhances the mechanical characteristics. The optimal parameters for achieving high-quality parts are determined: laser power of 1800–2000 W and heat treatment regime including quenching at $1180\pm 10^\circ\text{C}$ followed by aging at $900\pm 10^\circ\text{C}$. These findings can be applied in additive manufacturing of gas turbine engine components requiring high strength and thermal resistance.