

УДК 621.763

Особенности и перспективы применения технологии прямого лазерного выращивания в аэрокосмической отрасли

Куденко Даниил Андреевич¹

danya.kudenko@gmail.com

SPIN-код: 9905-8781

Адамян Арина Артемовна²

arina.adamyan.03@mail.ru

Белкин Андрей Андреевич

vv.w.vv@mail.ru

¹ Московский авиационный институт, Москва, Россия² МИСиС, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена технология прямого лазерного выращивания (ПЛВ) как один из наиболее перспективных методов аддитивного производства. Приведены особенности ее применения в аэрокосмической отрасли, отмечены преимущества по сравнению с традиционными методами изготовления деталей. Подробно описан технологический процесс, оборудование и используемые материалы. Обозначены существующие проблемы и направления развития.

Ключевые слова: прямое лазерное выращивание, DLD, аддитивные технологии, металлические порошки, ракетно-космическая техника, 3D-печать

Введение. Прямое лазерное выращивание (ПЛВ, Direct Laser Deposition, DLD) — одна из наиболее передовых аддитивных технологий для производства металлических изделий. Она позволяет сочетать преимущества послойного «выращивания» материала и традиционных методов обработки и при этом максимально автоматизировать производство изделий. Технология широко применяется в авиации, ракетостроении, энергетике и судостроении, где требования к прочности и точности особенно высоки [1].

Методы, материалы и результаты. Процесс ПЛВ осуществляется в герметичной камере, заполненной инертным газом (чаще всего аргоном), чтобы исключить окисление расплава. В зону воздействия лазера через сопло подается металлический порошок — сферические частицы, зачастую размером 40–200 мкм. Под действием лазерного излучения мощностью от 500 Вт до 5 кВт порошок плавится и оседает в виде валика. Последовательное наложение таких валиков формирует трехмерное изделие. Толщина одного слоя может составлять от 0,1 до 1 мм в зависимости от мощности лазера, диаметра сопла и характеристик порошка [2].

В составе технологического комплекса выделяют несколько узлов: лазерную головку с системой подачи порошка, манипулятор или координатный стол, систему газоподготовки и охлаждения, датчики и модули мониторинга, а также программно-управляемую стойку с пользовательским интерфейсом [3].

Наиболее распространенные материалы в аэрокосмической отрасли — титановые сплавы (BT6, Ti-6Al-4V), алюминиевые сплавы (AlSi10Mg), ни-

келевые сплавы (Inconel 625, 718), кобальт-хромовые и нержавеющей стали (12X18H10T). Ключевое требование — чистота порошков: наличие оксидных пленок, влаги или неметаллических включений приводит к пористости и снижению прочности изделия [2].

В России внедрение технологии ведется на многих предприятиях в различных отраслях промышленности. Основные барьеры внедрения ПЛВ в России связаны с высокой стоимостью оборудования, ограниченным производством качественных порошков и отсутствием единой нормативной базы (ГОСТ, ОСТ). Также ощущается дефицит специалистов в области аддитивных технологий [3].

К недостаткам технологии можно отнести частую необходимость последующей механической обработки изделий, так как технология печати изделий не позволяет обеспечить высокую точность размеров и требуемую шероховатость поверхности [1].

Кроме того, часто необходима дополнительная термическая обработка, так как на изделиях, полученных методом ПЛВ могут присутствовать непроплавы и трещины. Она позволяет гомогенизировать микроструктуру и улучшить механические свойства изделия [4].

Кроме того, проблемой метода ПЛВ является возникновение остаточных напряжений в материале из-за термических напряжений при печати, вследствие нагрева и следующего за ним охлаждения наносимого материала. Они могут исказить геометрию изделия, менять его механические свойства и образовывать дефекты [5].

Заключение. С учетом тенденции к цифровизации производственных процессов, развитие ПЛВ станет ключевым элементом перехода к индустрии 4.0 (Индустрия 4.0 или четвертая промышленная революция предполагает внедрение в промышленность информационных технологий, что повысит автоматизацию производства), где производство будет полностью интегрировано с цифровыми моделями, мониторингом и искусственным интеллектом.

Список источников

- [1] Федоров В.Б. Актуальность метода прямого лазерного выращивания в аддитивном производстве. *Технологии обработки. Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 2024, № 4–5, с. 152–156.
- [2] *Прямое лазерное выращивание — прорыв в изготовлении крупногабаритных изделий*. URL: <https://additiv-tech.ru/publications/pryamoe-lazernoe-vyrashchivanie-proryv-v-izgotovlenii-krupnogabaritnyh-izdeliy.html> (дата обращения 03.11.2025).
- [3] Соломонов В.В., Туричин Г.А., Земляков Е.В. Прямое лазерное выращивание изделий из порошковых материалов: принцип, оборудование и материалы. *Технические науки в России и за рубежом. VI Междунар. науч. конф.: матер.* Москва, Буки-Веди, 2016, с. 34–38.
- [4] Балякин А.В. Процесс прямого лазерного выращивания жаропрочного сплава: влияние мощности и термической обработки на микроструктуру и механические

характеристики. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*, 2023, № 4 (46), с. 64–78.

[https://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-4\(46\)-64-78](https://doi.org/10.57070/2304-4497-2023-4(46)-64-78).EDN: STILTW

- [5] Андреев А.А., Письмаров А.В. Исследование остаточных напряжений в элементе конструкции автоматического космического аппарата, изготовленного методом прямого лазерного выращивания. *Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение*, 2025, т. 24, № 3, с. 53–65. <https://doi.org/10.18287/2541-7533-2025-24-3-53-65>