

## ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ ТОЧНОСТИ РАЗМЕРОВ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СЕЛЕКТИВНОМ ЛАЗЕРНОМ ПЛАВЛЕНИИ

Давлатов Г.Д.<sup>1</sup>, Сапрыкин А.А.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Давлатов Г.Д. (аспирант гр. А1-20, НИ ТПУ, ИШНПТ),

<sup>1</sup>E-mail: gdd1@tpu.ru;

<sup>2</sup>Сапрыкин А.А. (к.т.н., доцент ЮТИ ТПУ),

<sup>2</sup>E-mail: sapraa@tpu.ru

### Введение

Технологии, связанные с аддитивным производством изделий из металлов, экспоненциально улучшают свои возможности с каждым днем, что означает развитие более точного и снижающего ошибки производства конструктивно-сложных изделий. С помощью технологии Laser Beam Powder Bed Fusion (LB-PBF) можно изготавливать изделия со сложными внутренними каналами и тем самым расширить области их применения. Например, фигурные каналы могут использоваться для повышения эффективности охлаждения [1].

Высокая скорость съема материала при электрополировке (ЭП) делает его более эффективным, а также и делает большой шаг в области гибридной полировки внутренних структур LB-PBF [2, 3]. Чжао и др. [2], объединили ЭП и механическое царапание в качестве инновационного гибридного метода полировки для удаления, частично расплавленного порошка во внутренних отверстиях LB-PBF. В разработанной ими установке, [2], которая состоит из накопительной емкости, в которой перемешивается электролит и нагревается до определенной температуры нагревателем. Для выпуска электролита использовался насос с максимальной производительностью 20 л/мин. Затем была разработана и изготовлена пластиковая полировальная камера для закрепления в ней образца LB-PBF и катода.

Galina Kasperovich со своими коллегами [4] провели четыре исследования по оптимизации параметров LB-PBF с целью достижения низкой шероховатости поверхности для: вертикальной внутренней (90°), верхней (45°) и нижней (135°) поверхностей.

Все образцы были изготовлены с одинаковыми изначально выбранными параметрами LB-PBF ( $EL = 0,113$  Дж/мм,  $PCL = 180$  Вт,  $vCL = 1600$  мм/с), где:

$EL$  – постоянная линейная плотность энергии лазера

$PCL$  – мощность контурного лазера, то есть последовательность сканирования, при которой сначала лазером обрабатывается объемная часть, а затем сканируются векторы контуров

$vCL$  – скорость сканирования контура.

Также были выбраны две стратегии сканирования (заполнения слоя): шахматный и линейный.

Независимо от расположения поверхности, а также последовательности сканирования, линейный способ сканирования показывает несколько меньшую шероховатость поверхности по сравнению с шахматной. Это связано с тем, что между островками шахматного сканирования направление изменяется на 90 градусов, в то время как между слоями в исследуемых схемах применялся поворот на 45 градусов и боковой сдвиг.

Jacob Mingear и др. [5] подробно описывают процесс изготовления канальных образцов NiTi с помощью системы LB-PBF, представляющей собой коммерческий металлический принтер ProX 100 компании 3D Systems. Этот принтер оснащен непрерывным волоконным лазером с гауссовым профилем распределения мощности излучения с длиной волны 1070 нм, диаметром луча около 70 мкм и мощностью лазера 50 Вт.

Ориентация канала относительно направления построения рассматривалась как основной фактор, так как было установлено, что она оказывает большое влияние на шероховатость поверхности.

Вертикальные каналы создают новые слои поверх ранее затвердевшего слоя, а горизонтальные – потолки поверх слоя порошка. Показывающий результат проникновения расплава в пористый порошок при изготовлении нависающего элемента, приводит к увеличению шероховатости. Средние значения шероховатости для всех каналов слабо отрицательны, что свидетельствует о небольшом смещении в сторону поверхностных впадин. После электрополировки наблюдается уменьшение интенсивности, которое, как показано далее увеличивается обратно пропорционально параметрам, связанным с плотностью энергии лазера. Кроме того, очевидно, что электрополировка является эффективной процедурой постобработки для уменьшения шероховатости.

Про свою установку и процесс повышения качества поверхности внутренних отверстий, в своей публикации рассказывает Chenhao Zhao и др [6] В качестве катодного электрода использовалась металлическая витая пара, а к катоду было прикреплено большое количество нейлоновых нитей, выполняющих роль гибкого абразива.

На поверхности внутреннего канала происходит электрохимическая реакция, способствующая растворению материала. В это время катодный инструмент перемещается, увлекая за собой гибкий абразив для механического царапания внутренней поверхности. Диаметр катодного инструмента был больше диаметра внутреннего отверстия, и он совершал возвратно-поступательные движения, обеспечивая всестороннее механическое воздействие на внутреннюю поверхность.

Процесс показал, что увеличение длительности электрического разряда и времени полировки еще больше сглаживает внутреннюю поверхность при трех плотностях тока, а частично расплавленные порошки постепенно удаляются. В ходе этого процесса колебания поверхности уменьшались по высоте и, в конце концов, были удалены с образованием более однородной поверхности. Более того, этот процесс может быть применен и к криволинейному внутреннему отверстию.

Из изложенного выше следует, что существует несколько способов повышения качества поверхности отверстий после послойного сплавления металлического порошка лазером. Это традиционные методы механической и электрохимической полировки. Однако регулировать уровень микронеровностей поверхности можно за счет технологических параметров, таких как стратегия сканирования, мощность излучения и ориентация поверхности относительно направления построения.

### Список литературы

1. Han S, Salvatore F, Rech J, Bajolet J. Abrasive flow machining (AFM) finishing of conformal cooling channels created by selective laser melting (SLM). *Precis Eng* 2020; 64:20–33. <https://doi.org/10.1016/j.precisioneng.2020.03.006>.
2. Zhao C, Qu N, Tang X. Electrochemical mechanical polishing of internal holes created by selective laser melting. *J Manuf Process* 2021; 64:1544–62. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.03.003>.
3. Mohammadian N, Turenne S, Brailovski V. Surface finish control of additively manufactured inconel 625 components using combined chemical-abrasive flow polishing. *J Mater Process Technol* 2018; 252:728–38. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.10.020>.
4. The effect of build direction and geometric optimization in laser powder bed fusion of Inconel 718 structures with internal channels: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264127521004111?via=ihub>.
5. Effect of process parameters and electropolishing on the surface roughness of interior channels in additively manufactured nickel-titanium shape memory alloy actuators: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214860418307954>.
6. Electrochemical mechanical polishing of internal holes created by selective laser melting <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1526612521001699>.