

ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ В ПОРОШКОВОМ СЛОЕ

Никоров Кирилл Николаевич

Студент

Факультет ВМК МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: knikorov@gmail.com

Научный руководитель — Кропотов Дмитрий Александрович

Одним из самых перспективных и наукоемких направлений в области трехмерной печати является лазерное плавление в порошковом слое — процесс аддитивного производства, при котором лазер высокой мощности прицельно расплавляет траектории в слоях металлического порошка и слой за слоем создает детали. Качество детали определяется многими параметрами процесса [1], такими как траектория движения лазера, его мощность и скорость и т. д. Стратегия заматания лазером своей траектории влияет на локальное распределение тепла [2]. Это может приводить к неустойчивости в размерах ванн расплава во время плавления металла. Моделирование локального распределения тепла на основе машинного обучения позволяет добиться довольно успешных результатов. Так, несколько исследований [3] продемонстрировали вычислительно эффективные модели, основанные на машинном обучении, с довольно высокой точностью прогнозирования. Применение подобных моделей для управления процессом печати также были предложены в работе [4], но в ней использовалась довольно простая предсказательная модель и эвристический алгоритм управления.

В нашем исследовании мы разработали метод управления стратегией печати, основанный на градиентных методах оптимизации, а также моделях машинного обучения, которые предсказывают площадь ванны расплава. Управление лазером производится с помощью регулирования уровня мощности лазера P_i в каждой точке печати i .

Формула (1) показывает выражение для прогнозирования площади ванны расплава S_i в точке печати i с помощью алгоритма машинного обучения f . Эта формула была предложена в статье [4].

$$S_i = f(t_i, P_i, v_i, \theta_i^{\Delta t}), \text{ где } \theta_i^{\Delta t} = \sum_{j=0}^{n_i} a_1 * e^{a_2 \Delta t_{ij}} \frac{P_{ij}}{v_{ij}}. \quad (1)$$

Как видно из формулы (1), модель зависит от значения мощности лазера P_i , скорости печати v_i и глобального времени работы t_i лазера в точке i . Последний аргумент модели $\theta_i^{\Delta t}$ выражает эффект от всей предыдущей истории печати на площадь ванны расплава S_i в данной точке i и рассчитывается так, как показано в формуле (1), где n_i — количество цифровых команд, выполненных принтером до точки i , Δt_{ij} — время печати от команды j до команды i , а P_{ij} и v_{ij} — мощность и скорость лазера в соответствующей команде j . Параметры a_1 и a_2 являются внешними параметрами и настраиваются экспериментально.

Для управления использовались данные со стандартных систем мониторинга процесса плавления. Нахождение оптимальных мощностей лазера $P_i \forall i = 1 \dots N_n$ в каждой точке печати i слоя n предлагается проводить через решение следующей задачи оптимизации (см. формулу (2)):

$$\frac{1}{N_n} \sum_{i=1}^{N_n} (y - f(t_i, P_i, v_i, \theta_i^{\Delta t}))^2 \rightarrow \min_{P_i \forall i}, \quad (2)$$

где N_n — количество точек печати на слое n , а $y \in \mathbb{R}_+$ — некоторое эталонное константное значение, которое выбирается из распределения площадей ванн расплава на наиболее удачных примерах печати.

Литература

1. Grasso M., Colosimo B. M. Process defects and in situ monitoring methods in metal powder bed fusion: a review, *Measurement Science and Technology*, 2017, №28, P. 1–25.
2. Hooper P. A. Melt pool temperature and cooling rates in laser powder bed fusion, *Additive Manufacturing*, 2018, №22, P. 548–559.
3. Paul A., Mozaffar M., Yang Z., Liao W., Choudhary A., Cao J., Agrawal A. A realtime iterative machine learning approach for temperature profile prediction in additive manufacturing processes, 2019 IEEE International Conference on Data Science and Advanced Analytics, Washington, DC, USA, 2019, P. 541–550.
4. Yeung H., Yang Z., Yan L. A Meltpool Prediction Based Scan Strategy for Powder Bed Fusion Additive Manufacturing, *Additive Manufacturing*, 2020 №35, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101383>.