

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛИРОВКЕ НА КВАРЦЕВОЕ СТЕКЛО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Марченко Л.Н., Никитюк Ю.В.

Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины,
Республика Беларусь, 246028, г. Гомель, ул. Советская, 104, +375296182928,
lmarchenko@gsu.by, Nikitjuk@gsu.by

В программном комплексе ANSYS разработана конечно-элементная модель лазерного нагрева кварцевой пластины размером $15 \times 15 \times 2$ мм. Верификация модели по данным тепловизионных измерений показала относительную погрешность определения максимальной температуры не более 5 %. С использованием модуля DesignXplorer сформирован гранецентрированный вариант центрального композиционного плана эксперимента. Входными параметрами выбраны: скорость обработки V (м/с), мощность лазера P (Вт), большая и малая полуоси эллиптического пучка A и B (м), шаг сканирования S (м). Выходными – максимальная температура $T1$ (К) и максимальные напряжения по Мизесу $S1$ (Па) в момент завершения обработки и через 1000 с после воздействия $T2$ (К) и $S2$ (Па) соответственно.

На основе расчетных данных построены прогностические модели методом SVR с тремя типами ядерных функций: радиальная базисная (RBF), полиномиальная (степень 3) и линейная. Модель с RBF ядром и имела гиперпараметрами $C = 1.0$ (параметр регуляризации), $\epsilon = 0.1$ (параметр чувствительности), $\gamma = 'scale'$ (автоматический расчет ширины ядра). продемонстрировала наилучшие показатели. Высокий коэффициент детерминации ($R^2 = 0.97$ в среднем по четырем выходным параметрам) свидетельствует о точности прогнозирования. Анализ остатков подтвердил нормальность распределения (p -value Шапиро-Уилка > 0.05) и гомоскедастичность (p -value Бреуш-Пагана > 0.05). Линейное ядро показало удовлетворительные результаты ($R^2 = 0.92$), полиномиальное - наихудшие ($R^2 = 0.74$). Показано, что мгновенные температурные поля $T1$ наиболее чувствительны к скорости обработки V и мощности лазера P . При этом увеличение скорости снижает температуру, увеличение мощности - повышает. На остаточные напряжения $S2$ наибольшее влияние оказывают геометрические параметры пучка большая полуось A и шаг сканирования S . Оптимизация этих параметров позволяет минимизировать остаточные напряжения. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными лазерной полировки кварцевого стекла.

Комплексный подход, сочетающий конечно-элементное моделирование и машинное обучение, позволил разработать высокоточные прогностические модели для параметров лазерной полировки кварцевого стекла.

Литература

1. *Smola A.J., Schölkopf B.* A tutorial on support vector regression // *Statistics and Computing.* – 2004. – Vol. 14. – P. 199-222.
2. *Nikitjuk Y., Serdyukov A., Aushev I.* Optimization of Two-Beam Laser Cleavage of Silicate Glass // *Journal of Optical Technology.* – 2022. – Vol. 89, No. 2. – P. 121-125.