

激光抛光动力学与表面形貌超高速在线光学测量

王度^{1,*}

¹ 武汉大学工业科学研究所, 湖北省武汉市八一路 299 号, 430072

*Email: wangdu@whu.edu.cn

摘要: 激光抛光作为一种新兴的表面处理技术, 为降低微细尺度精密零件的表面粗糙度提供了一种经济有效的解决方案。如何精准捕捉与控制纳米级表面形貌演化(通常发生在微秒到毫秒内)是实现激光抛光工艺参数实时控制的重要问题。我们以激光熔覆的合金表面、Ti6Al4V合金、石英玻璃等材料为研究对象, 首次采用光学时间拉伸定量干涉测量(OTS-QI)技术, 以纳秒级的时间分辨率实现了激光抛光过程中整个表面形貌演变过程的实时原位可视化; 此外, 通过建立基于温升、传热、相变、微流动等多物理场动态数值模型对激光抛光过程中熔池的流动行为进行分析, 并分别设计了连续激光、脉冲激光等实验, 对工艺参数进行规律探索。结果表明, 在熔池的形成-流动-平滑-振荡-凝固的过程中, 每个功率密度下有且仅有一个时间点使得熔池表面最光滑, 这个时间被定义为熔池流动平滑时间尺度。在该加工窗口内, 表面粗糙度可以降低到最小, 而不会形成由Marangoni效应和不均匀去除等引起的中频波纹。在该理论指导下, 优化抛光工艺参数, 实现了增材工件表面的粗糙度从20 μm 以上抛光至低于0.1 μm , 表面粗糙度下降98%以上; 石英玻璃粗糙度从>500nm抛光至<0.5nm。为了实现激光抛光过程的实施监测, 研究了基于飞秒激光时域拉伸超快成像技术的材料表面形貌高速检测。实验结果与多物理场模型之间的高度一致性不仅揭示了激光抛光中各种机制发生的时间尺度, 而且为工业应用提供了一种高效实用的原位实时在线监测方法。

关键词: 激光抛光; 在线监测; 超快测量; 多物理场

参考文献

- [1] Li R., Weng Y., Lin S., Wei C., Mei L., Wei S., Yao Y., Zhou F., Wang D., Goda K., and Lei C. All-Optical Fourier-Domain-Compressed Time-Stretch Imaging with Low-Pass Filtering. *ACS Photonics* (2023).
- [2] Zhao S., Wang D., Liu J., Yu M., Yan R., Cui E., Liu S., and Lei C. Analysis of molten pool dynamics and surface smoothing time scale in laser polishing alloy materials. *Optics & Laser Technology*, 161: 109183 (2023).
- [3] Yu M., Mo Z., Yu X., Lei C., and Wang D. Effects of fictive temperature on mid-frequency waviness in laser polishing of glass. *Applied Optics*, 61(25), (2022).
- [4] Wang D., Fan F., Liu M., Tan T., Li H., and Li Y. Top-hat and Gaussian laser beam smoothing of ground fused silica surface. *Optics & Laser Technology*, 127, 106141 (2020).

*第一作者(报告人)联系方式: 王度、18010664756、wangdu@whu.edu.cn