

激光熔池动态过程检测研究

雷剑波, 杨洗陈*, 陈娟, 王云山, 王雨

(天津工业大学激光技术研究所, 天津 300160)

摘要 提出采用 CCD 相机结合数字图像处理技术检测监控激光熔池方案, 建立了激光熔池动态过程检测系统, 开发了激光熔池图像处理专用软件, 进行了激光熔敷实验研究。结果表明, 该技术可以检测激光熔池温度和几何尺寸, 记录熔池动态变化过程。进一步发展, 可成为激光加工在线检测过程的有用工具。

关键词 激光技术; 熔池; 动态过程; 检测; CCD

中图分类号 TN249 **文献标识码** A

Measurement of Dynamic Process in Laser Molten Pool

LEI Jian-bo, YANG Xi-chen, CHEN Juan, WANG Yun-shan, WANG Yu

(Laser processing center, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

Abstract The method of laser molten pool measurement by CCD was proposed. A system of temperature field measurement was developed. Proprietary image processing software was developed. Experiments of laser cladding were carried out. It was shown temperature distribution, size and dynamic process in laser molten pool could be measured. It could be a useful device for laser processing after further developed.

Key words laser technique; molten pool; dynamic process; measurement; CCD

1 引言

激光熔池动态过程研究已经在国内外得到广泛关注, 已有利用互补金属氧化物半导体(CMOS)、红外双色温度计、接触热电偶等进行检测的研究, 取得了很多有价值的结果^[1~4]。激光能量密度高, 形成的熔池尺寸小, 热过程复杂, 从而为熔池动态热过程检测带来了很大困难。随着高温检测技术及 CCD 技术的发展, 采用 CCD 进行动态热过程检测已经得到了广泛的应用^[5~7]。本文研制了一套基于 CCD 的激光熔池检测系统, 拍摄 Ni 基合金粉末激光熔敷熔池热辐射图像, 对熔池形成的初始、稳定及结束过程热辐射图像进行了温度场分析。

光电转换产生代表辐照度信息的电荷信号, 经过图像卡采集后, 实时显示熔池热辐射过程图像, 通过专用熔池数据分析系统进行分析, 得到熔池温度场分布。

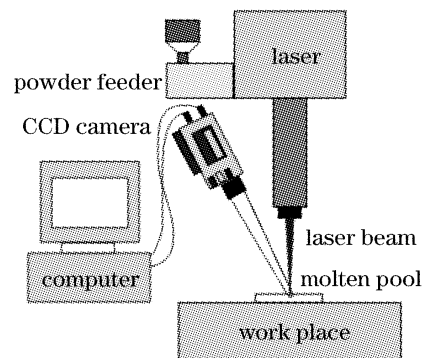


图 1 测温系统结构图

Fig. 1 Scheme of temperature measurement system

2 实验装置及方法

2.1 实验装置

如图 1 所示, 激光辐照工件形成熔池, CCD 经过

实验各装置主要技术参数为:

1) 激光器: HL-5000 型 CO₂ 激光器。

基金项目: 国家自然科学基金(60478004)和天津市科委重点攻关项目(033188011)资助课题。

作者简介: 雷剑波(1981—), 男, 湖北仙桃人, 博士研究生, 主要从事激光与材料相互作用和激光熔池温度场检测研究。

E-mail: ljbtj@163.com

导师简介: 杨洗陈(1941—), 男, 吉林长春人, 教授, 博士生导师, 主要从事激光与材料相互作用和激光加工理论及应用方面的研究。

* 通信联系人。E-mail: yangxich@126.com

- 2) 数控机床:SIEMENS 802D 数控机床。
- 3) 送粉器:JKJ-6 自动送粉器。
- 4) 熔池动态检测系统:每秒钟采集 25 幅熔池热辐射图像,采用 BF1400 黑体标定。
- 5) 熔池数据分析系统:用于熔池动态过程录像、抓取图片、温度场分析等。

2.2 实验方法

实验现场图如图 2 所示,CCD 与激光方向角度约为 25°,CCD 相机固定在运动光头上,随着光头一起运动。

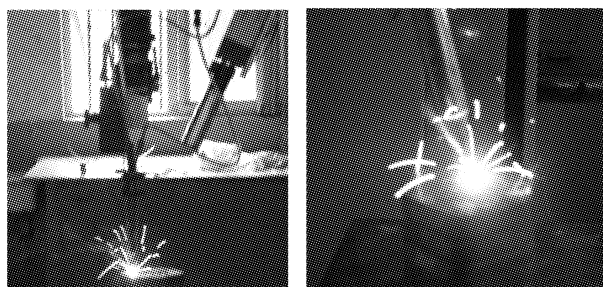


图 2 实验现场图

Fig. 2 Picture of temperature field measurement experiment

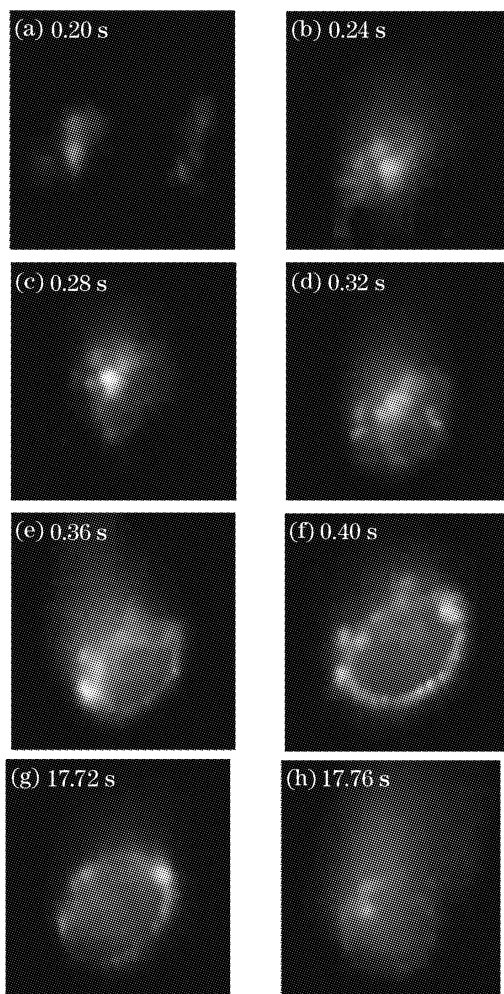


图 3 不同时刻的激光熔敷热辐射成像

Fig. 3 Pictures of laser molten pool at different time

3 结果及分析

图 3 所示为 Ni45 金属粉末侧向送粉熔敷时,不同时刻下拍摄得到的熔池热辐射图像,激光功率 1700 W,试样为 10 mm 厚 45# 钢板,熔敷速度 2 mm/s,在 17.72 s 时关闭激光。经过专用处理软件分析后,得到熔敷熔池温度场分布如图 4 所示。

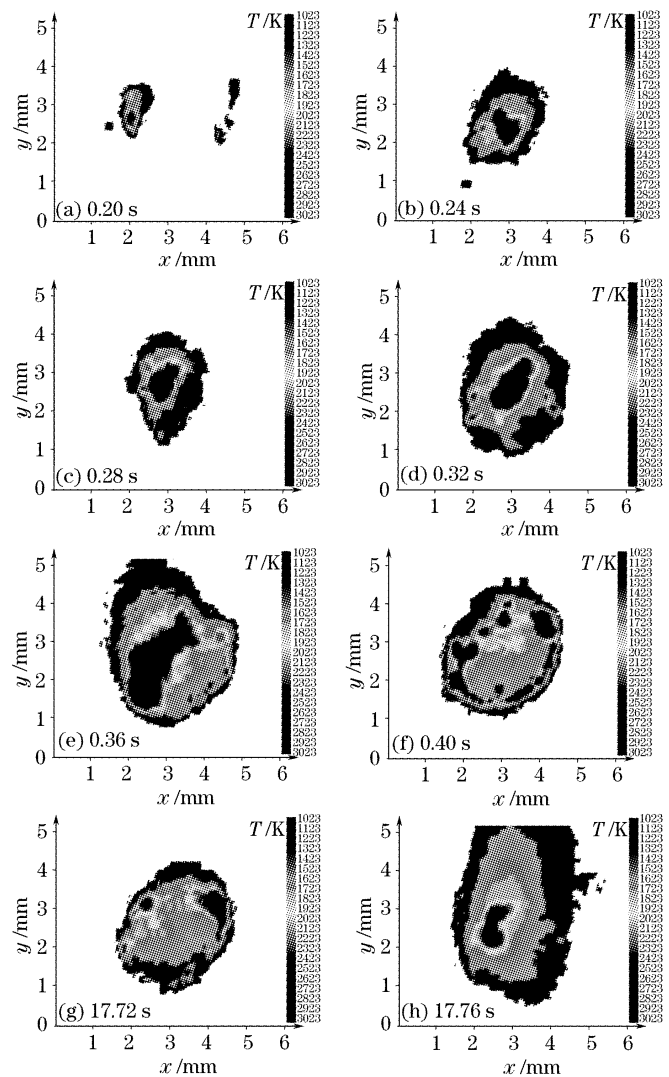


图 4 不同时刻的激光熔敷温度场分布

Fig. 4 Temperature distribution of laser molten pool at different time

初始过程:激光辐照 0.20 s 时,已经出现了部分粉末熔化现象,升温速度高达 8×10^3 K/s。在初始过程中,熔池区域具有很高的升温速度。

稳定过程:到 0.40 s 时,熔池基本上达到了稳定状态,平均温度在 1800 K 左右,尺寸约 3 mm。

结束过程:在 17.72 s 开始关闭激光后,熔池温度迅速降低,在 17.80 s 时,发现已经看不到热辐射图像显示,降温速度高达 3×10^4 K/s。

在激光熔敷加工中,可以通过熔池的温度场分布及尺寸等信息控制激光熔敷质量。熔池达到稳定状态需要一定的时间,根据到达稳定状态时间及加

工速度,可计算出提前加工量;稳定状态时,熔池尺寸存在一定的波动,但波动量不是很大,在选取多道搭接量时,必须考虑熔池尺寸波动量。

4 结 论

研制了一套激光熔池动态过程检测系统,检测了激光熔敷熔池动态过程。结果表明,在激光刚开始辐照时,具有很高的升温速度,在 0.40 s 时基本上达到了稳定状态;而在停止激光能量输入时,熔池的降温速度也很高,呈现出明显的温度梯度分布。通过控制熔池尺寸和熔池温度场分布,可以达到控制激光熔敷质量的目的,进一步发展,可用于激光加工在线监测和控制。

参 考 文 献

- 1 Zhong Minlin, Yang Lin, Liu Wenjin *et al.*. Laser direct manufacturing W/Ti telescope collimation component [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(4): 482~486
钟敏霖,杨林,刘文今等. 激光快速直接制造 W/Ti 合金太空望远镜准直器 [J]. *中国激光*, 2004, **31**(4): 482~486
- 2 Li Yanmin, Liu Zhenxia, Yang Haiou *et al.*. Measurement and simulation of temperature field during multi-layer laser cladding [J]. *Acta Metallurgica Sinica*, 2003, **39**(5): 521~525
李延民,刘振侠,杨海鸥等. 激光多层涂敷过程中的温度场测量与数值模拟 [J]. *金属学报*, 2003, **39**(5): 521~525
- 3 J. Müller-Borhanian, C. Deininger, F. Dausinger *et al.*. Camera based monitoring during laser beam welding influences of the detection wave length [J]. *Proceedings of the Third International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing* 2005, Munich, 2005. 137~141
- 4 Zhang Yi, Li Lijun, Jin Xiangzhong *et al.*. Diathermancy study on keyhole effects in laser deep penetration welding [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(12): 1538~1542
张屹,李力钧,金湘中等. 激光深熔焊接小孔效应的传热性研究 [J]. *中国激光*, 2004, **31**(12): 1538~1542
- 5 Cheng Xiaofang, Fu Tairan, Fan Xueliang. Principles of surface temperature measurement method via radiation approach [J]. *Science in China Ser. G*, 2004, **34**(6): 639~647
程晓舫,符泰然,范学良. 谱色测温原理 [J]. *中国科学 G 辑*, 2004, **34**(6): 639~647
- 6 Ma Fanhua. Detecting of combustion flame's digital images in cylinder of diesel engine and the data processing [D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 1999
马凡华. 柴油机缸内燃烧火焰图像获取及其数据处理 [D]. 北京: 北京理工大学, 1999
- 7 Pan Jiluan. Control of Modern Arc Welding [M]. Beijing: Mechanic Industry Press, 2000. 308
潘际銮. 现代弧焊控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000. 308