

文章编号: 1001-3806(2008)02-0191-03

CO₂ 激光熔凝中熔池冷却过程检测研究

雷剑波, 杨洗陈*, 陈娟, 王云山
(天津工业大学 激光技术研究所, 天津 300160)

摘要: 为了研究激光熔凝温度场的分布, 采用非接触式的直接检测方法, 研制了一套新型激光熔池动态检测系统, 实时拍摄了激光熔凝中熔池冷却过程热辐射图像, 进行了理论分析和实验验证, 取得了熔池冷却时非稳态温度场分布数据。结果表明, 激光熔凝熔池冷却过程分为熔化凝固和固态降温两个过程, 检测得到了熔化时间、凝固时间、熔池温度场分布、熔池尺寸等信息。这一结果对于激光熔凝工艺参数的优化选择设计是有帮助的。

关键词: 激光技术; 温度场; 检测; 激光熔凝

中图分类号: TG156.99 文献标识码: A

Study on measurement of cooling process in molten pool of CO₂ laser melt hardening

LEI Jian-bo, YANG Xi-chen, CHEN Juan, WANG Yun-shan
(Laser Processing Center, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

Abstract In order to study temperature field distribution in laser melt hardening a nondestructive direct measurement method was developed. A novel laser molten pool dynamic process measurement system was set up. Thermal radiation image in laser melt hardening molten pool was captured at real time. Temperature field data at different time were obtained by theory analysis and experiment measurement. It is shown cooling process in molten pool includes solidification and temperature declining after solidification. Melting time, solidification time, temperature field distribution and molten pool size could be measured. These information could be used to optimize laser melt hardening process parameters.

Key words laser technique; temperature field measurement; laser melt hardening

引 言

激光熔凝是以很高的激光功率密度, 使金属表面局部区域被加热到相当高的温度使之熔化, 借助基体的吸热和热传导作用, 使熔化的表面薄层金属快速凝固。激光熔凝得到的是铸态组织, 硬度高、耐磨性好, 由于其优异的性能, 得到了广泛的应用^[1]。然而, 该项技术仍处在发展之中, 有许多基础问题尚待深入研究^[2-6]。激光的高能输入和熔池的快速冷却, 存在复杂的热过程, 它直接决定激光熔凝的尺寸、精度和性能, 因此开展激光熔凝的温度场检测研究, 不仅具有重要的科学价值, 而且对于激光熔凝的工业应用具有指导作用^[7-11]。激光熔池温度场研究在经历解析分析和数值模拟等基础理论分析后, 随着试验条件、检测手段及计算机技术的发展, 现已有利用接触热电偶、红外双色

温度计、CCD 等进行检测的研究^[12-15], 但一般只能给出熔池点温、附近的点温或背面温度场, 然后采用数学分析方法推导得到温度场分布。作者采用一种新型激光熔池动态过程检测装置, 实时拍摄了激光熔凝快速冷却过程, 经过专用软件分析, 得到了其冷却过程中的非稳态温度场分布。它属于非接触测量, 不受常用激光加工入射波段(红外 1.06 μ m 或 10.6 μ m)及工作环境的影响, 可用于激光加工的在线监测与反馈控制。

1 实验装置及实验方法

1.1 实验装置

实验各主要单元装置为: (1)激光器: HL-5000型 CO₂ 连续激光激光器, 主要参数为: 波长 $\lambda=10.6\mu\text{m}$, 额定功率 5000W, 稳定度 $\pm 5\%$, 光束发散角 $\leq 10\text{mrad}$; (2)数控机床: SIEMENS 802D 五轴四联动数控机床; (3)动态检测装置: 自主研制了激光熔池检测系统, 主要由熔池动态图像采集装置、数据卡、计算机组成, 每秒采集 25幅熔池热辐射图像, 使用前经中国计量科学研究院 BF1400 黑体标准辐射源标定; (4)数据处理系统: 自主研发了熔池动态图像分析专用软件, 用于熔池

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60478004); 天津市科委重点攻关项目基金资助项目(033188011)

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

* 通讯联系人。E-mail: yangxiel@126.com

收稿日期: 2006-09-07; 收到修改稿日期: 2006-09-26

动态过程录像、抓取图片、温度场分析等。

1.2 实验方法

激光熔池动态检测装置固定在机床导光筒上,与激光方向角度约 25° ,检测装置随激光一起运动,与激光熔池保持固定的距离和方向。激光熔凝加工中,动态检测装置实时拍摄并记录激光熔池的热辐射图像,经过计算机分析处理,得到激光熔凝过程中的温度场分布如图 1 所示。

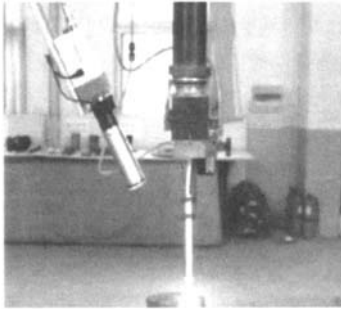


Fig 1 Picture of temperature measurement experiment

2 实验结果及分析

为了比较明显地记录熔池冷却过程情况,激光辐照试件一段时间后,在 43.16s 时停止激光辐照,图 2 所示为停光后在不同时刻下拍摄得到的熔池冷却热辐射图像。

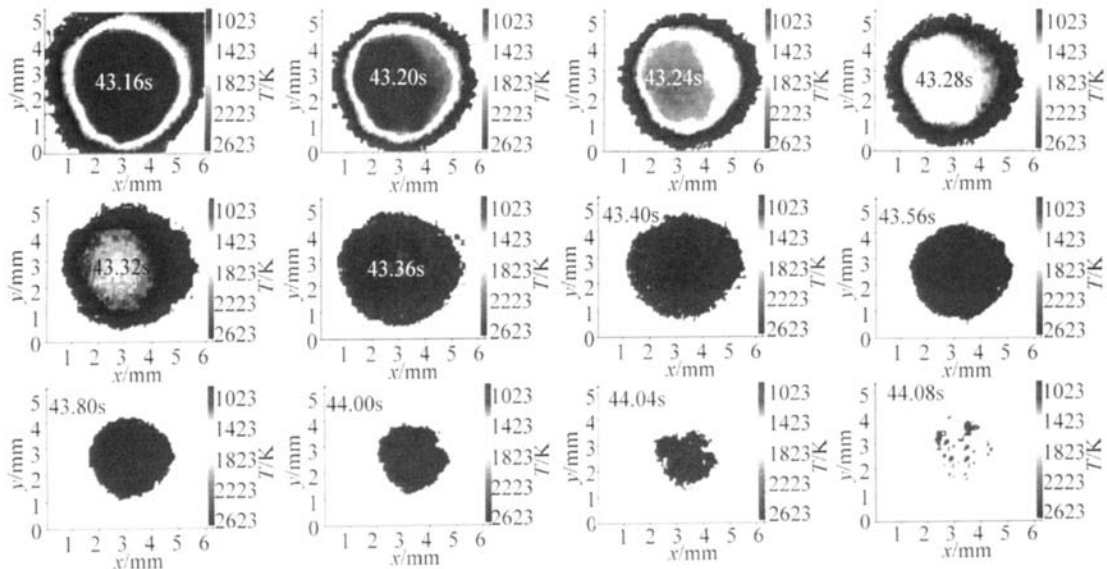


Fig 3 Temperature field distribution in laser molten pool

在 43.16s 时,熔池形状比较规则,中心温度比较高,直径约 4mm。刚停光时,熔池中心温度迅速降低,熔池周围开始凝固,熔池尺寸迅速减小,43.36s 时熔池已基本凝固,平均降温速率约为 $7.5 \times 10^3 \text{ K/s}$ 。

熔池凝固后,降温速率慢慢降低,熔池凝固区热辐射图像尺寸逐渐缩小,最小缩减到约 2mm,熔池热辐射图像始终保持近似圆形,表明热传导几乎是沿着熔池对称分布。

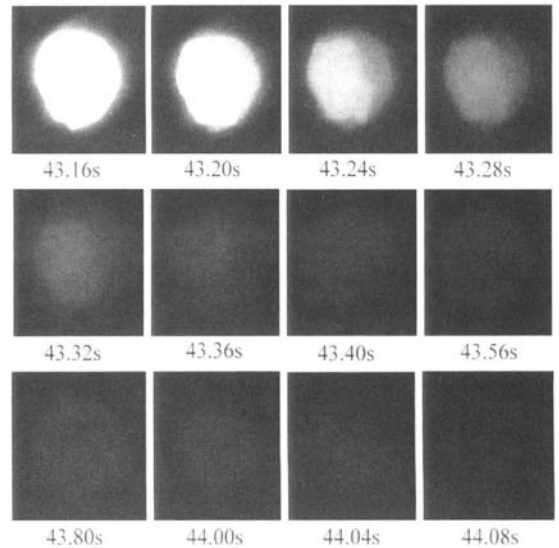


Fig 2 Pictures of laser molten pool

射图像,激光功率 1000W,激光光斑 3mm,试件为 3mm 厚 A3 钢板。

由图 2 可以看出,停光后,由于材料的热传导,激光熔池热辐射图像迅速变暗,熔池辐射像尺寸越来越小,经过 0.92s 后,熔池热辐射图像褪去。

图 3 所示为各不同时刻对应的温度场分布。熔池冷却过程可以分为凝固前和凝固后两个过程。

熔池凝固前,熔化区域由激光辐照熔化区和热传导熔化区组成,激光光斑覆盖区域为激光辐照熔化区,其直径尺寸约为 3mm,热传导熔化区域直径尺寸约 4mm,熔池凝固后,熔化区域温度迅速降至相变点,实现工件的相变硬化。

激光熔凝是对强化区域材料进行再次熔化冶炼并快速冷却硬化,为了提高激光熔凝的质量,需要对材料熔化时间、熔池尺寸、熔池温度和冷却时间进行严格的

控制。在进行激光熔凝参数选择时,可以通过动态检测装置记录及分析的图像数据,给出其熔化时间、尺寸及温度等信息,选择出最佳工艺参数。

3 结 论

建立了激光熔池动态检测系统,实时拍摄了激光熔凝熔池冷却时各个不同时刻状态下的热辐射图像,并给出其温度场分布。实验结果表明,激光熔凝熔池图像可以被实时检测记录及分析,其温度场分布、尺寸及非稳态变化过程信息为激光熔凝的工艺参数选择及基础理论分析提供了实验依据。进一步发展,可用于激光加工在线监测及自动闭环反馈控制。

参 考 文 献

- [1] GUAN Zh Zh. Laser process technology manual [M]. Beijing Chinese Measurement Press 1998 133(in Chinese).
- [2] HUANG K J XIE Ch Sh XU D Sh. State of the arts of CO₂ laser remelting and CO₂ laser phase transformation [J]. Laser Journal 2002 23(5): 9-13(in Chinese).
- [3] HUANG K J XIE Ch Sh XU D Sh. State of the arts of pulsed laser remelting and pulsed laser phase transformation [J]. Laser Technology 2003 27(2): 130-133(in Chinese).
- [4] LIU Zh X, HUANG W D. Modeling and simulating on laser remelting considering diffusion/convection and phase change process in the substrate [J]. Chinese Journal of Lasers 2004 31(4): 491-494(in Chinese).
- [5] YAO G F, CHEN G N. Numerical simulation of transient thermal field in laser melting process [J]. Applied Mathematics and Mechanics 2004 25(8): 863-868(in Chinese).

- [6] ZHAO Y Zh, LIU J P, SHI Y W. Study on the property of laser remelting high carbon high alloy steel [J]. Laser Technology 2003 27(3): 205-207(in Chinese).
- [7] WANG D Ch. Controlling laser surface strengthening process based on artificial neural network [J]. Laser Technology 2003, 27(4): 317-320(in Chinese).
- [8] GRUM J, STURM R. Calculation of temperature cycles heating and quenching rates during laser melt hardening of cast iron [C] // Proceedings of the 1996 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe Hamburg CLEO, 1996: 195.
- [9] COLACO R, VILAR R. Effect of laser surface melting on the tempering behavior of D IN X42Cr13 stainless tool steel [J]. Scripta Materialia 1997 38(1): 107-113.
- [10] KOMANDURI R, HOU Z B. Thermal analysis of laser surface transformation hardening optimization of process parameters [J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture 2004 44(9): 991-1008.
- [11] CHIANG K A, CHEN Y Ch. Laser surface hardening of H13 steel in the melt case [J]. Materials Letters 2005, 59(14/15): 1919-1923.
- [12] ZHONG M L, YANG L, LIU J H, et al. Laser direct manufacturing W/Ti telescope collimation component [J]. Chinese Journal of Lasers 2004, 31(4): 482-486(in Chinese).
- [13] LI Y M, LIU Zh X, YANG H O, et al. Measurement and simulation of temperature field during multi-layer laser cladding [J]. Acta Metallurgica Sinica 2003, 39(5): 521-525(in Chinese).
- [14] MÜLLER-BORHANIAN J, DENNGER C, DAUSINGER C, et al. Camera based monitoring during laser beam welding influences of the detection wave length [C] // Proceedings of the Third International WLT-Conference on Lasers in Manufacturing Munich German Scientific Laser Society 2005: 137-141.
- [15] PAN J L. Control of modern arc welding [M]. Beijing Mechanical Industry Press 2000: 308(in Chinese).

(上接第 190 页)

式中, ε 是 PCF 中静压力变化 Δp 时在 PCF 中某点引起的应变, PCF 相模式双折射对应变的敏感性与波长之间函数曲线如图 8b 所示。群模式双折射对应力应变的敏感性可通过 (12) 式、(14) 式和 (15) 式求出。

4 结 论

作者分析了在外部压力作用下, PCF 的纤芯和包层产生的应变及与应力的对应关系, 计算了外界静压力作用对 PCF 折射率分布造成的波动值, 因为 PCF 结构发生的应变和折射率分布的波动使得 PCF 中传播的光脉冲的相位和模式双折射改变, 相位波动量和双折射对应力的敏感性可采用相干干涉测量技术进行分析和计算, 结果表明, PCF 传播光脉冲的相位和双折射对压力具有较强的敏感性和依赖性, 因此能广泛用于光纤压力传感器中。

参 考 文 献

- [1] PEYRILLOUX A, CHARTER T, HIDEUR A, et al. Theoretical and experimental study of the birefringence of a photonic crystal fiber [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology 2003 21(2): 536-539.
- [2] JU J JIN W, DEMOKAN M S. Properties of a highly birefringent photonic crystal fiber [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2003 15(10): 1375-1377.

- [3] SAITOH K, KOSHIBA M. Numerical modeling of photonic crystal fibers [J]. IEEE Journal of Lightwave Technology 2005 23(11): 3580-3590.
- [4] HOO Y L, JIN W, JU J et al. Design of photonic crystal fibers with ultra-low, ultra-flattened chromatic dispersion [J]. Opt Commun 2004 242: 327-332.
- [5] CHENG Ch F, WANG X F, FANG Z B, et al. Enhanced dispersive wave generation by using chirped pulses in a microstructured fiber [J]. Opt Commun 2005, 244 219-225.
- [6] PAN Y Zh, ZHANG J HU G J et al. Photonic crystal fiber and laser [J]. Laser Technology 2004, 28(1): 48-51(in Chinese).
- [7] PALAVICNIC, JAOUEN Y, DEBARGE G. Phase-sensitive optical low-coherence reflectometry technique applied to the characterization of photonic crystal fiber properties [J]. Opt Lett 2005, 30(4): 361-363.
- [8] VINCENT R D, PETER JR, JESPER G. Programmable complex field coupling to high-order guided modes of microstructured fibers [J]. Opt Commun 2004 232: 229-237.
- [9] FLOUROUS N J, VARSHENEY A K, SAITOH K. Thermooptical sensitivity analysis of highly birefringent polarimetric sensing photonic crystal fibers with elliptically elongated veins [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2006 18(15): 1663-1665.
- [10] ZSIGRIB, PEUCHERET C, NIELSEN M D, et al. Demonstration of broadcast transmission and wavelength conversion functionalities using photonic crystal fibers [J]. IEEE Photonics Technology Letters 2006 18(21): 2290-2292.
- [11] HUANG J J LIG, CHEN M, et al. Simulation dispersion properties of photonic crystal fiber [J]. Laser Technology 2006, 30(4): 432-435(in Chinese).