

文章编号: 1001-3806(2009)01-0104-03

激光淬火过程激光束模式的影响

傅纪斌, 姚建华*, 胡晓冬, 陈君

(浙江工业大学 激光加工技术工程研究中心 机械制造及自动化教育部重点实验室, 杭州 310014)

摘要: 为了检测激光淬火过程中 CO₂ 激光束能量的空间分布变化, 研究不同激光模式对激光淬火硬化层均匀性的影响, 采用基于焦热电相机的在线激光束分析仪实时监测激光淬火过程中的激光束模式。结果表明, 由于激光能量密度空间分布的不均匀, 导致光斑左右两侧硬化层深浅不一致。从显微组织发现, 硬化组织结构的均匀性和激光束模式有着非常紧密的关系, 均匀的激光能量分布产生较为均匀的组织。

关键词: 激光技术; 激光束模式; 在线激光束分析; 激光淬火

中图分类号: TG156.99 **文献标识码:** A

Effect of laser beam mode on laser quenching process

FU Ji-bin, YAO Jian-hua, HU Xiao-dong, CHEN Jun

(The MOE Key Laboratory of Mechanic Manufacture and Automation, Research Center of Laser Processing Technology and Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: In order to examine the variation of CO₂ laser beam mode profile, and analyze the effect of different laser modes on the uniformity of quenching hardened layers, a pyroelectric camera-based industrial inline laser beam analyzer was installed to monitor the laser beam profiles in real-time during the laser quenching process. Results showed that due to the ununiformity of the laser power intensity in spatial distribution, the depth of the hardened layer at either side of the beam spot differed obviously. In addition, it was found the microstructures of laser quenching layers were dominated by laser beam modes and uniform power distribution resulted in uniform microstructures.

Key words: laser technique; laser beam mode; inline laser beam analysis; laser quenching

引言

光束质量及功率稳定性在激光热处理中起着关键的作用, 激光器只有输出高质量的激光束, 才能满足材料加工的要求。研究表明, 激光淬火是一个涉及光束质量、工件的热物理特性、工件的几何形状以及光作用方式等众多因素的复杂技术^[1]。

激光束的功率密度是由激光横模决定的, 检测高功率激光束模式有多种方法, 间接检测的有烧蚀法^[2], 直接检测的有反射转针^[3-4]法等。在激光热处理过程中, 由于不同模式的激光束在空间中有不同的强度分布, 即使功率和离焦量等参量相同, 不同模式的

光束在材料中产生的温度场也可能有较大差别, 影响热处理的质量^[5]。目前, 对激光淬火的相关研究大多侧重于激光扫描参量与硬化层尺寸的相互关系^[6], 而有关激光模式对激光淬火层影响的研究较少。本文中针对 45# 钢试样进行了激光淬火实验, 采用基于焦热电相机的在线光束分析仪实时监测激光淬火过程中光斑能量分布, 根据硬化层的显微组织分析了不同激光模式对激光硬化层的影响。

1 实验方法与过程

1.1 实验方法

实验中采用最大输出功率为 7kW 的 LEO GFT-IVB 型横流 CO₂ 激光器, 光束经由一系列铜镜传输, 采用抛物面反射聚焦系统, 焦距为 400mm。

采用 II-VI-CO₂-BS-35 型在线光束分析仪实时监视热处理过程中的激光束模式变化, 分析仪安置在激光耦合输出端的光轴上, 实验时可以同时进行激光在线检测和激光材料热处理, 两者互不影响。光束分析仪内部采用 GaAs 分束镜, 入射光束反射至分束镜, 小于 0.3% 的光束透射到低功率区, 剩下的 99.7% 反射

基金项目: 浙江省自然科学基金资助项目 (Y107489); 浙江省教育厅科研计划资助项目 (20060824); 浙江省先进制造技术与装备重中之重学科开放基金资助项目 (AMT200506-008)

作者简介: 傅纪斌 (1981-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为光束质量检测及激光束变换。

* 通讯联系人。E-mail: laser@zjut.edu.cn

收稿日期: 2007-11-13; 收到修改稿日期: 2008-01-06

到高功率区的主光轴上,透射的光束再经过 1/100000 的衰减照射到焦热电相机,由 CCD 感知后经 IEEE1394 火线传输到计算机。

1.2 实验过程

激光模式由彩色等云图给出,实验分别在矩形模式和圆形模式的光束作用下进行。激光在不同功率不同模式下辐照 100s,记录光束尺寸、总功率、功率密度峰值等基本参量,再进行统计和处理。计算光斑尺寸时,采用 2 阶矩法^[7],定义为激光剖面光强分别在 x 方向和 y 方向上的标准偏差的 4 倍。

第 1 个实验检测了矩形分布的激光模式,并在此激光模式下进行激光淬火。实验材料为 45# 钢,试样尺寸 100mm × 45mm × 12mm,待处理表面用金相砂纸打磨并用酒精清洗干净后,喷涂自制的黑色吸光涂料,扫描速度保持在 200mm/min,调节激光功率分别至 2000W, 2500W 和 3000W 各扫描一次。第 2 个实验检测了圆形分布的激光模式,在激光淬火时激光扫描参量保持一致,以便对比研究不同的激光模式对淬火硬化层的影响。淬火后将试样沿垂直于扫描方向切成小块,经打磨和抛光处理,用质量分数为 0.05 的硝酸酒精溶液腐蚀,用 EDX-1000 型显微镜观察淬火层形貌和金相组织。

2 实验结果与分析

2.1 激光模式分析

图 1 和图 2 中分别显示了矩形光斑与圆形光斑的

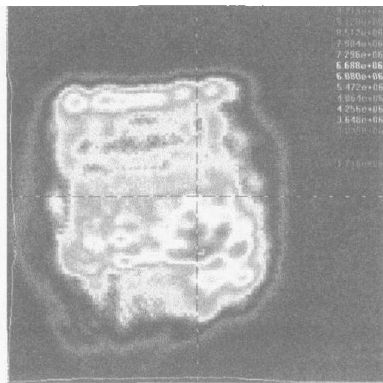


Fig. 1 Rectangle laser mode profiles, at 3000W

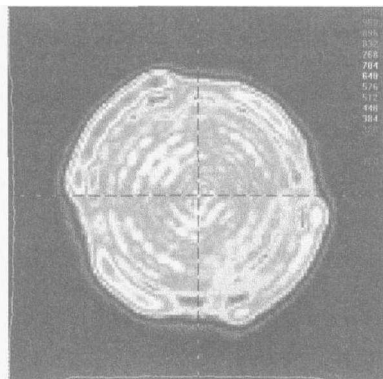


Fig. 2 Circle laser mode profiles, at 3000W

不同模式。彩色云图代表功率密度,单位 W/cm^2 。由图可知,激光束为高阶多模混合,在光斑剖面上有多个能量极大值,结构和图形都比较复杂。在检测 2 种不同模式的激光时均发现,当激光功率逐渐增大时,功率密度、模式分布和光斑轮廓均发生明显变化。另一方面,根据统计,高的激光功率引起大的功率偏差,但是偏差的相对值事实上是随功率的增加而减小的。

2.2 激光淬火硬化层分析

通常经过简单聚焦的激光,淬火处理后材料硬化层的形貌为中间厚、光斑两侧边缘薄的“月牙形”^[1],原因在于光斑中心处热量主要向纵深方向传递,因而等温线涉及的深度较深,即硬化层较厚;而越靠近光斑两侧边缘,基体横向热传导越强烈,使许多热量向两侧散失,导致纵向传递的热量减少,造成等温线涉及的深度逐渐变浅,即硬化层越来越薄。图 3 显示的是矩形激光模式下 2500W 激光淬火硬化层,观察发现硬化层

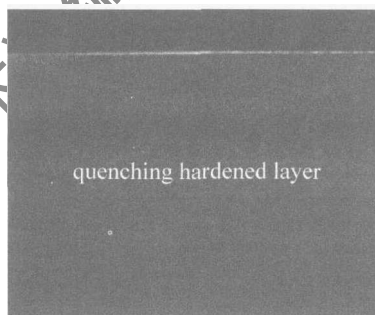


Fig. 3 Appearance of laser quenching hardened layer at 2500W with rectangle laser mode

左右两侧深度不一致,主要是由于激光功率密度不均匀引起的。激光淬火时,试样内部的导热是一个 3 维的非稳态热传导过程,根据参考文献[8]和参考文献[9],将试样假设为半无限大固体,在深度方向(z 轴)的温度分布 T 可近似表示为: $T(z,t) - T_0 = \frac{2q(at/\pi)^{1/2}}{\kappa} \exp\left(-\frac{z^2}{4at}\right) - \frac{qz}{\kappa} \operatorname{erfc}\left(\frac{z}{\sqrt{4at}}\right)$, 其中, T_0 为初始温度, κ 为热导率, a 为热扩散率, t 为作用时间, $\operatorname{erfc}(\xi)$ 为误差函数的补函数, q 为激光功率密度。激光扫描时,可以理解为表面温度为 $\frac{2q(at/\pi)^{1/2}}{\kappa}$ 的热源

沿被扫描的固体表面移动。图 1 显示,光斑功率密度分布不均匀,功率密度高的一侧与低的一侧差异较大,实验时试样内部的传热条件几乎相同,而由于高的功率密度 q 导致高的表面温度,所以观察硬化层发现,除了光斑中心的硬化层特别深之外,光斑高功率密度一侧扫描后的硬化层比低功率密度的一侧要深一些。

图 4 显示的是圆形激光模式下 2500W 激光淬火硬化层,由于光斑功率密度空间分布相对比较均匀,硬化层左右两侧深度基本一致。

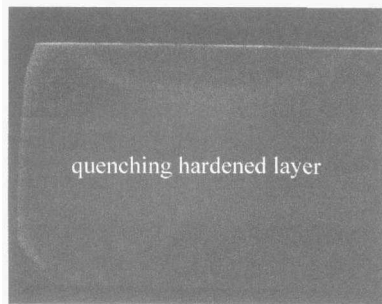


Fig. 4 Appearance of laser quenching hardened layer at 2500W with circle laser mode

2.3 激光淬火硬化区显微组织分析

图5显示了45#钢基体的显微组织图,可以看出其组织为回火屈氏体(α 相与渗碳体的混合物)^[10]。图6所示的是在矩形激光模式条件下激光淬火硬化区的组织,其组织为片状马氏体和少量残余奥氏体。从图

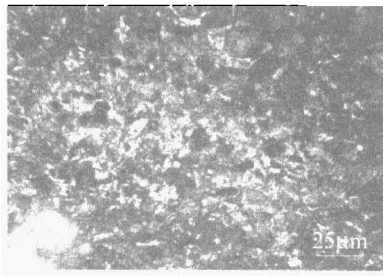


Fig. 5 Microstructures of the substrate(45# steel)

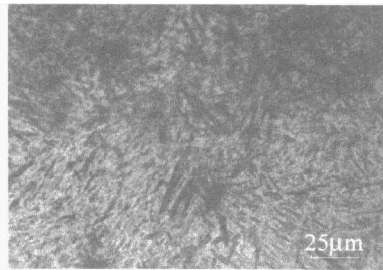


Fig. 6 Microstructures of the laser quenching layer with rectangle laser mode 中发现马氏体组织粗细不均匀,这是由于在矩形光斑模式下,激光能量空间分布差异较大,激光加热时材料受热不均匀,之后又迅速冷却,致使形成的马氏体组织粗细不均匀。

图7所示的是在圆形激光模式条件下激光淬火硬化区的组织,其组织也为片状马氏体和少量残余奥氏体,从图中发现经过激光淬火后,马氏体组织无序交错

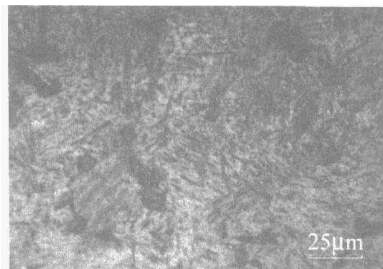


Fig. 7 Microstructures of the laser quenching layer with circle laser mode

分布且较为均匀。与矩形激光模式下的显微组织相比,由于初始的圆形激光模式相对矩形激光模式能量空间分布更为均匀,使得淬火后组织的均匀性有所提高。

3 结 论

(1)新型的在线激光束分析仪成功检测了激光淬火过程中的激光模式。由彩色云图显示,光束呈复杂的高阶模式,在光斑剖面有多个能量极大值。在检测2种不同模式的激光时均发现,当激光功率增大时,功率密度、模式分布和光斑轮廓均发生明显变化。另一方面,高的激光功率引起大的功率偏差,但是偏差的相对值是随功率的增加而减小的。

(2)通过观察激光模式图与淬火硬化层图可发现,由于激光能量密度的空间分布的不均匀,导致硬化层左右两边深浅不一致,激光功率密度高的一侧所形成的硬化层更深一些,而能量分布相对均匀的激光形成的淬火硬化层左右深度较一致。

(3)对比2种不同模式的激光扫描后的淬火层显微组织发现,硬化组织结构的均匀性和激光模式有着非常紧密的关系,均匀的激光能量分布产生较为均匀的组织。

参 考 文 献

- [1] LI J Ch. Study of laser heat treatment and optimized control [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 1995: 1 (in Chinese).
- [2] WANG Z Y, LIU J T, HIRAK D M, et al. Measurement of pulsed laser beam dimensions using KAPTON films [C]//Proceedings of the Laser Materials Processing Symposium—ICALEO 1991. Toledo: Laser Institute of America, 1992: 74-83.
- [3] HIRAK D M, WECHKMAN D C, KERR H W. Measuring the spatial intensity distribution of high-power focused laser beams using a rotating-wire type laser beam analyzer [J]. Measurement Science & Technology, 1994, 5(12): 1523-1532.
- [4] WANG Y Q, AN Ch W, GAO Sh Zh, et al. A monitor for real time measurements of laser power and modes [J]. Chinese Journal of Lasers, 1999, 26(1): 26-30 (in Chinese).
- [5] LI Sh, HU Q W, ZENG X Y. Effect of laser mode on the quality of laser cladding layers [J]. Laser Technology, 2005, 29(6): 667-669 (in Chinese).
- [6] WU G, SONG G M, HUANG W J. Influence of laser processing parameters on the case-depth and the hardness [J]. Laser Technology, 2007, 31(2): 163-166 (in Chinese).
- [7] XIANG X Y, CHEN H Q, WU P, et al. Adaptive measuring algorithm of laser beam width based on CCD [J]. Laser Technology, 2006, 30(5): 552-555 (in Chinese).
- [8] YANG Sh M, TAO W Q. Heat conduction [M]. 4th ed. Beijing: Higher Education Press, 2006: 8 (in Chinese).
- [9] YAN Zh, SONG G M, WU G. Inhomogeneous laser hardened layer and its control [J]. Heat Treatment, 2006, 21(1): 10-14 (in Chinese).
- [10] LIU Y X. Principle of metal heat treatment [M]. Beijing: China Machine Press, 1981: 212 (in Chinese).