

文章编号: 0258-7025(2009)Supplement 2-0401-03

# 一种分析激光熔覆温度场的方法

王旭葆 祁俊峰 丁鹏 杨胶溪 武强 王喜兵 左铁钊

(北京工业大学激光工程研究院, 北京 100124)

**摘要** 利用激光熔覆技术制造高速线材轧辊为应用前提。轧钢领域的众多生产线各有不同,同一生产线上的不同位置的轧辊也具有不同形状,这种不同轧辊的熔覆基材就有着不同的加工情况,探索一种普适性的加工机理是必要的,这就要求不仅仅从理论上对熔覆过程进行分析,还要寻求一种测试、跟踪手段以适合于分析、监控加工过程的情况。对激光熔覆成形过程进行了理论分析,探求了熔覆过程中熔池的测试和跟踪方法,来跟踪、监测激光熔覆的成形过程。利用高速摄影仪对 CO<sub>2</sub> 激光熔覆成形过程中温度场进行研究,运用 Matlab 软件对高速摄影获得的图片进行灰度处理,研究了熔覆过程中熔池的温度分布情况,获得了可信的熔池温度梯度分布图。

**关键词** 激光技术; 轧辊; 激光熔覆; 温度场; 熔池

**中图分类号** TN249; TG156.99 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL200936s2.0401

## A Method to Analyzing Temperature Field in Laser Cladding

Wang Xubao Qi Junfeng Ding Peng Yang Jiaoxi Wu Qiang

Wang Xibing Zuo Tiechuan

(*Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China*)

**Abstract** The main application background of this paper is using laser cladding technology to process high-speed wire roller. The production lines in the steel rolling industry are different. The wire rollers at different positions in the produce line have different shape. And the different backings of rollers have different process crafts. So it is necessary to explore the mechanics of laser cladding roller with universality. The paper analysed the laser cladding process in theory, and sought one measuring and tracing method adapted to analyzing and monitoring laser cladding process. Based on the temperature field of CO<sub>2</sub> laser cladding investigated through high speed camera, the basic things about how to analyze temperature field by Matlab software are introduced, including input and output of the thermal image, the temperature distribution at the direction and its section in molten pool.

**Key words** laser technique; roller; laser cladding; temperature field; molten pool

## 1 引言

激光熔覆技术的研究开始于 20 世纪 70 年代,是一种新兴的材料表面加工技术。其利用激光作为能源,和传统的表面技术相比(如:等离子体喷涂、堆焊等),有着稀释率小、热输入小、工件变形小、界面结合为冶金结合等优点<sup>[1~5]</sup>。硬质合金粉末烧结成辊环的方法不但因为工艺流程复杂而效率低下,而且当辊环破裂或因磨损尺寸超标时,辊环就会报废,造成大量贵重金属的浪费。采用材料表面加工技术,在普通材料做成的基体上制造出满足性能使用

的功能层,取代粉末冶金烧结的辊环,一直是材料工作者为之奋斗的目标。由于线材轧辊多种多样,表面形貌各有不同,导致激光熔覆工作环境各异,因此,探索一种普适性的加工机理是必要的。这就要求不仅仅从理论上对熔覆过程进行分析,还要寻求一种测试、跟踪手段以适合于分析、监控加工过程的情况,为进一步严格控制在激光作用下多物质粉末的非平衡熔化和凝固过程,保证稳定的熔池形状和连续的固/液界面打下基础。

由于激光熔覆是一个复杂的瞬态热力过程,运

**基金项目:** 国家 973 计划(2006CB605206)资助课题。

**作者简介:** 王旭葆(1972—),男,助理研究员,博士,主要从事光学工程专业方面的研究。

E-mail: wangxubao@bjut.edu.cn

动中的高功率激光束对工件表面局部区域进行快速照射加热,材料经历升温、熔化、气化、凝固、冷却以及热膨胀、弹性变形、塑性变形、流体流动等复杂热力过程,属于典型的非线性问题。关于预测激光熔覆过程温度场的解析方法,当前,很多均采用数值方法来解决这一问题<sup>[6~13]</sup>。

本文尝试一种实际测量与计算机处理相结合的方式,表征激光熔覆过程中的温度场变化情况。利用高速摄影技术对激光熔覆过程进行瞬态工作情况观测,可以得到熔池瞬态照片,将该结果用 Matlab 软件进行计算机依据灰度处理,进而得到等温线立体图形,不同功率密度和加工速度下,熔池形状和温度梯度会有所不同,从而可以分析温度分布和熔池形状对最终加工结果的影响。

## 2 实验方法

激光熔覆材料为 CO 基合金粉末+WC,粒度为-150~+320 目,采用 6 kW CO<sub>2</sub> 激光器以及配套的专用数控转台和送粉系统,激光输出模式为 TEM<sub>01</sub> 模,其光束经过 270 mm 焦距的积分镜整形后形成一个 8.0 mm×2.4 mm 的矩形光束(注:通过积分镜参数设计可获得不同尺寸的光斑)。送粉

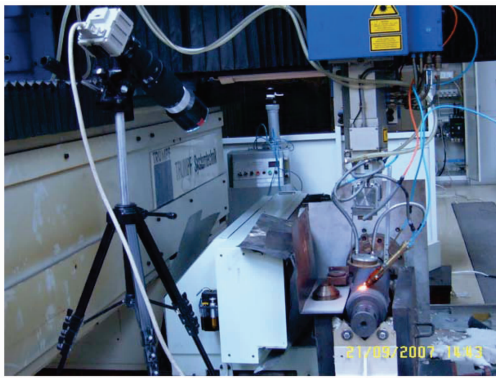


图 1 实验装置照片  
Fig. 1 Photograph of setup



图 2 激光熔池高速摄影照片  
Fig. 2 Photograph of cladding pool

喷嘴采用相应的矩形,送粉率为 23.5 g/min,激光平均功率约 5 kW,离焦量选择为 60~70 mm,扫描速度为 0.4 m/min。图 1 为实验装置照片,在激光熔覆轧辊实验中,利用高速摄影仪进行跟踪摄像,摄影仪与加工平面的角度约为 75°。摄影仪存储系统会记录加工过程的多个瞬态图片,图 2 为其中一幅照片。

## 3 实验结果与讨论

利用 Matlab 软件对图 2 进行处理,图像输入输出方法 Matlab 采用了两个函数<sup>[14~16]</sup>,即 imread 和 imwrite,分别用于将图像文件读入 Matlab 工作空间,以及将图像数据和调色板数据一起写成一定的外部图像文件。imread 和 imwrite 支持 BMP, HDF, JPEG, PCX, TIFF, XWD 等图像文件格式。函数 imread 在读入图像文件数据时,根据图像文件的格式,在 Matlab 工作空间中创建 3 种类型的图像之一,即索引式图像、强度式图像和全真颜色图像。当图像文件是强度型的图像数据,特别是灰度级图像文件时,imread 就创建一个类型为 unit8 的图像数据矩阵。例如:robotb. bmp 为 460×460 的位图文件,使用 imread 函数后,位图文件便转化为 460×460 的矩阵  $\mathbf{X}$ ,矩阵  $\mathbf{X}$  的元素为图表灰度的大小。

$$\mathbf{X} = \text{imread}('robotb. \text{bmp}'), \quad (1)$$

式中  $\mathbf{X}$  为 460×460 矩阵;robotb. bmp 为拍摄的热图像文件。

在获取热图像的数值矩阵  $\mathbf{X}$  后,便可以通过对矩阵  $\mathbf{X}$  的变换得到热图像的特征信息。

温度场热图像输出主要有二维和三维图形输出。二维图形输出包括热图像的温度变化曲线、等温线等,三维图形输出包括三维等高线(如图 3,这里为方便处理,坐标数值为实际的 1/10)、三维网格曲面等。二维图形输出主要采用 Matlab 函数 plot,这是最简单且用得最为广泛的一个线性绘图函数,利用它可

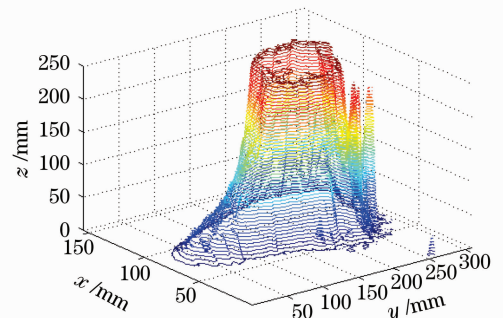


图 3 溶池温度场的三维分布  
Fig. 3 Three-dimensional distribution of temperature field

以生成线段、曲线、参数方程曲线等函数图形。三维图形绘制与输出的 Matlab 函数有生成网格曲面的 mesh 和 meshc 以及二维和三维等温线函数 contour 和 contour3。另外，函数 meshc 除了生成网格图外，还在  $x-y$  平面生成曲面的等高线<sup>[17]</sup>。

激光熔覆熔池最高温度约 2250 °C，占全部熔池的 90% 区域，熔池前端为开始熔化区，等温线不稳定。观测得熔池长度为 10 mm，宽度为 8 mm，经计算可知，粉末颗粒从熔化到凝固的时间大约为 1.2~2.3 s，保持液态的时间非常短暂，快速加热、快速冷却的特点是激光熔覆能获得细小晶粒组织的有力证据。

## 4 结 论

对熔覆熔池进行考察和研究，利用高速摄影技术对激光熔覆过程进行观测，并把所得结果与计算机处理相结合，可以较好地获得熔池的温度相对分布，将对加工工艺参数以及光能量密度分布情况与加工效果的关系有指导意义。

## 参 考 文 献

- 1 B. C. Oberlander, E. Lugsceider. Comparison of properties of coating sproduced by laser cladding and conventional methods[J]. *Mater. Sci. Technol.*, 1992, **8**(8): 657~665
- 2 R. Vitar. Laser cladding[J]. *J. Laser Applications*, 1999, **11**(2): 64~79
- 3 T. Webber. Advances in the applicatons of laser cladding of multi-dimensional part geometries [C]. *SPIE*, 1987, **774**: 137~143
- 4 P. J. E. Monson, W. M. Steen. Comparison of laser hardfacing with conventional processes[J]. *Surf. Eng.*, 1990, **6**(3): 185~193
- 5 Li Gang, Xia Yuanliang, Wang Cunshan *et al.*. The comparison of microstructure and hardness of laser cladding layer with thermal spring layer[J]. *Material Science and Technology*, 2001, **9**(3): 325~328  
李 刚, 夏元良, 王存山等. 激光熔覆涂层与热喷涂涂层组织性能比较[J]. *材料科学与工艺*, 2001, **9**(3): 325~328
- 6 Zhang Bo, Sheng Hetai. The Principle and Engineering Application with Ansys Finite Element Analysis[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005. 45  
张 波, 盛和太. Ansys 有限元数值分析原理与工程应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2005. 45

- 7 Wang Yang, Deng Zongquan, Qu Cunjing *et al.*. The study of mechanism of YAG laser quenching and CO<sub>2</sub> laser quenching[J]. *Applied Laser*, 2000, **20**(4): 159~161  
王 扬, 邓宗全, 曲存景等. YAG 激光和 CO<sub>2</sub> 激光相变硬化机理研究[J]. *应用激光*, 2000, **20**(4): 159~161
- 8 Wei Xueqin, Zheng Qiguang, Gu Jianhui *et al.*. The influences of inhomogeneous distribution and ripple of temperature on technique of laser cladding[J]. *China Mechanical Engineering*, 2001, **12**(2): 150~153  
魏学勤, 郑启光, 辜建辉等. 激光熔覆中温度分布和涨落对熔覆工艺的影响[J]. *中国机械工程*, 2001, **12**(2): 150~153
- 9 Zhao Jianfeng, Wu Xiaoming, Tang Yaxin *et al.*. Synthesis error analysis of rapid prototyping technology by using laser sintering [J]. *Aeronautical Manufacturing Technology*, 1999, **2**: 26~29  
赵剑峰, 吴晓鸣, 唐亚新等. 激光烧结快速成型技术误差综合分析[J]. *航空制造技术*, 1999, **2**: 26~29
- 10 Yang Shiming. Thermal Transmission [M]. Beijing: Higher Education Press, 1980  
杨世铭. 传热学[M]. 北京:高等教育出版社, 1980
- 11 Zhu Bofang. The Principle and Application of Finite Element [M]. Beijing: Beijing Water Conservancy and Electric Power Press, 1979  
朱伯芳. 有限元法原理与应用[M]. 北京:北京水利电力出版社, 1979
- 12 Wang Xucheng, Shao Min. The Principle and Numerical Method of Finite Element[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997  
王勖成, 邵 敏. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京:清华大学出版社, 1997
- 13 Yu Cangming. Thermal Transmittance and Numerical Method [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1981. 1~52  
余昌铭. 热传导及其数值分析[M]. 北京:清华大学出版社, 1981. 1~52
- 14 Xue Dingyu. MATLAB Language and Its Application with Control System Computer Design [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1997. 5  
薛定宇. 控制系统计算机辅助设计 MATLAB 语言及应用[M]. 北京:清华大学出版社, 1997. 5
- 15 Zhang Peiqiang. MATLAB 2 Calculus Paper-Mode for Engineering Calculation Language [M]. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 1995. 8  
张培强. MATLAB 语言 2 演算纸式的科学与工程计算语言[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社, 1995. 8
- 16 Gao Junbin. MATLAB5.0 Language and Program Design[M]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1998  
高俊斌. MATLAB5.0 语言与程序设计[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 1998
- 17 Xiang An, Xu Xuesong, Jia Jianping *et al.*. Welding temperature field analysis technique by MATLAB[J]. *J. Nanchang Institute of Aeronautical Technology*, 1999, **13**(3): 17~20  
项 安, 徐雪松, 贾剑平等. 焊接温度场热图象的 MATLAB 软件分析技巧[J]. *南昌航空工业学院学报*, 1999, **13**(3): 17~20