

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0350-04

激光再制造三维运动光束头

张兴泉, 王云山*, 杨洗陈, 朱银锋

(天津工业大学激光技术研究所, 天津 300160)

摘要 基于激光制造技术相关理论, 设计并制造了激光同轴转动三维运动光束头。分析了三维运动光束头工艺参数对熔覆效果的影响, 并讨论了其在工业应用实验中取得的效果。结果表明, 该三维运动光束头能绕垂直轴转动和水平轴摆动; 在参数一定的条件下, 随着光束头摆动角度的增加, 熔覆效果越来越不理想, 理想的摆动角度为 $0^\circ \sim 45^\circ$; 配合送粉头的粉末流聚焦及焦点可调功能, 该光束头可以实现曲轴、螺杆、叶片等复杂型面零件的制造和再制造。

关键词 激光技术; 激光再制造; 三维运动光束头; 激光熔覆; 快速制造

中图分类号 TN29 **文献标识码** A

Three-Dimensional Laser Beam Coaxial Powder Feeding System for Laser Remanufacturing Technology

ZHANG Xing-quan, WAGN Yun-shan*, YANG Xi-chen*, ZHU Yin-feng

(Laser Processing Center, Tianjin Polytechnic University, Tianjin 300160, China)

Abstract According to laser fabrication theory, a new three-dimensional (3D) laser beam coaxial powder feeding system was designed. The effect of technological parameters on laser cladding was analysed, and its function was discussed in industrial application. The results showed that the three-dimensional laser beam coaxial powder feeding system can rotate around vertical axis and can swing horizontal axis; the effect of cladding was in inverse proportion to the swinging angle of head at the certain parameters, then the ideal angle was $0^\circ \sim 45^\circ$; three-dimensional laser beam coaxial powder feeding system was used to repair parts especially irregular shape parts, such as crank shaft, screw, vane and so on by focusing powder flow and the function of a djustable focus .

Key words laser technique; laser remanufacturing; three-dimensional laser beam coaxial powder feeding system; laser cladding; rapid production

1 引 言

随着国外大批高精尖设备的引入, 激光再制造技术发挥着越来越重要的作用, 它不仅能使损坏的零件恢复原有或近形尺寸, 而且性能达到或超过原基材水平, 具有广阔的发展前景^[1~7]。作为其重要组成部分的光束头, 在激光再制造尤其是复杂型面零件的再制造中发挥着不可忽视的作用, 但现有的光束头只能进行平面加工, 不能满足激光再制造技术的要求^[8]。为此, 综合机械设计的相关理论和计算机数字控制技术, 设计并制备了具有三维空间工

作能力的三维运动光束头。通过性能测试, 验证了三维运动光束头的设计功能, 分析了工艺参数对熔覆层质量的影响, 获得了激光再制造系统的理想参数范围。工业应用实验验证了三维运动光束头的实用价值和广阔的市场前景。

2 工作原理与结构

工作原理如图 1 所示, 该系统由电机控制部分和三维转动部分组成。控制部分由 89C51 单片机控制器和相应的步进电机组成, 该控制器可以实现

基金项目: 天津市科委重点攻关项目(033188011)资助课题。

作者简介: 张兴泉(1981—), 男, 江苏徐州人, 硕士研究生, 主要从事激光器配套设备开发以及激光加工工艺研究。

E-mail: zhangjunxi@126.com

导师简介: 王云山(1954—), 男, 天津人, 教授, 博士, 主要从事材料激光加工和激光与材料相互作用理论及应用研究。

* 通信联系人。E-mail: wys0126@126.com

步进电机不同转速和转动角度的控制。三维转动部分由齿轮传动部分及附属机构组成。采用步进电机组,是为了在齿轮组 2 上形成力偶,以进一步提高三维运动光束头的工作稳定性和系统的工作精度。步进电机 1 带动齿轮组 1 转动,实现系统绕垂直轴(即 z 轴)转动;步进电机组 2 带动齿轮组 2 转动,实现系统绕水平轴(即 x 轴)转动。由步进电机控制器分别控制步进电机 1 和步进电机组 2,加上数控机床本身垂直轴方向上的精密可控移动,使三维运动光束头具有三维空间工作能力。

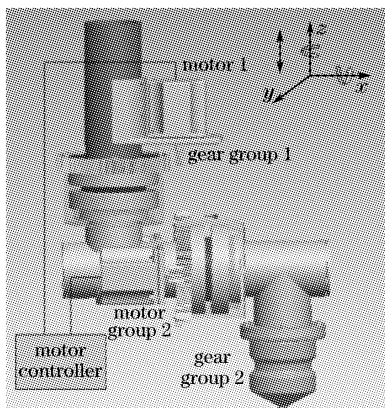


图 1 三维运动机构模型

Fig. 1 Model of three-dimensional laser beam coaxial powder feeding system

该机构可以实现绕垂直轴(z 轴) $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 转动,转动精度 0.0375° ;绕水平轴(x 轴) $-60^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 摆动,摆动精度 0.028125° 。可同时实现点动和联动。

3 实 验

3.1 性能测试

实验采用 TJ-HL-T5000 型 CO_2 激光器和五轴联动数控加工机组成的激光加工系统、三维运动光束头、JKF-6 改进型激光熔覆专用载气式双料斗送粉器。采用激光同轴送粉的方法进行熔覆,基体材料为 45 钢,尺寸为 $200\text{ mm}\times 100\text{ mm}\times 10\text{ mm}$ 。连续可调激光器输出功率为 1.4 kW ,离焦量为 20 mm ;聚焦镜组焦距为 315 mm ,光斑直径为 4 mm ;扫描速度为 2.5 mm/s ,送粉率为 10 g/min ,载气量为 3.5 L/min 。

在激光功率等参数一定的情况下,三维运动光束头的摆动角度对熔覆效果的影响如图 2 所示,从上到下分别对应光束头摆动角度为 15° , 30° , 45° , 60° , 75° 。可见,当光束头摆动角度小于 45° 时,熔覆效果较为理想;而光束头的摆动角度大于 45° 之后,熔覆质量越来越差,熔覆层变窄、熔覆层高度变低,且时而有不规则的凸起,在熔覆带的边上有不规则

的珠状颗粒存在。当光束头摆动角度小于 45° 时,送粉嘴的粉末焦点跟激光焦点重合,如图 3 所示,这样满足同轴送粉的条件,大量粉末充分熔化,获得很好的熔覆效果;而当光束头的摆动角度大于 45° 时,由于粉末自身的重力作用,粉末的焦点很大地偏离了激光焦点,如图 4 所示,激光熔覆过程中,很大一部分粉末没能充分熔化,使得熔覆效果不理想。因此,实际加工中光束头摆动角度应尽量控制在 45° 之内。

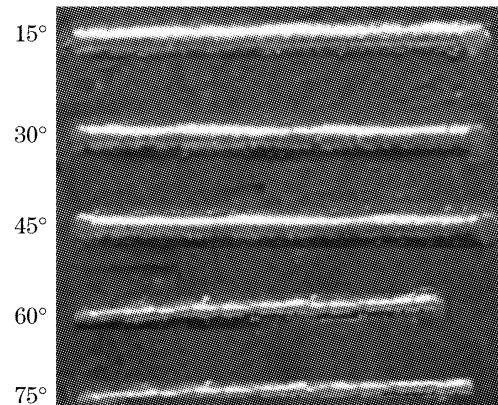


图 2 不同角度熔覆效果

Fig. 2 Laser cladding in different angles

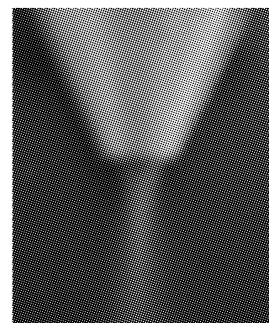


图 3 小角度送粉情况

Fig. 3 Power state in small angle

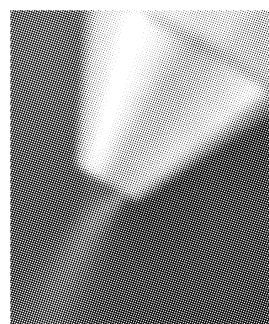


图 4 大角度送粉情况

Fig. 4 Power state in big angle

其他参数不变,激光功率为 1800 W ,送粉率为 15 g/min 、载气量为 4 L/min ,光束头摆动角度分别为 15° , 45° , 60° 的熔覆效果如图 5 所示。可见,熔覆质量有所提高,而且熔覆层宽度厚度有所增大,原因

是在大功率激光作用下,激光熔池温度更高,热影响区域也变大,当送粉率增大时,就有更多的粉末被熔化。

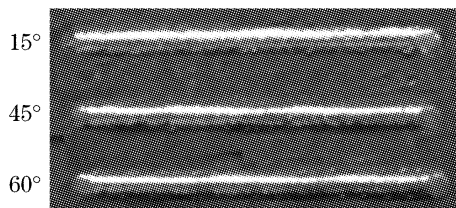


图 5 相应改变参数熔覆效果

Fig. 5 Laser cladding after changing the parameter

经过大量实验,光束头摆动角度在 0~45°范围内的理想工艺参数范围如表 1 所示。

表 1 摆动角度 0°~45°范围内的理想参数

Table 1 Ideal parameters during the angle of head was in 0°~45°

The angle of the head / (°)	0~45
Laser power / W	1200~1600
Scanning velocity / (mm/s)	2~3
Powder feeding / (g/min)	10~15
Gas feeding / (L/min)	3~5

当光束头摆动角度大于 45°时,可以通过增大激光功率和送粉率的方式提高熔覆效果,理想参数范围如表 2 所示。

表 2 摆动角度 45°~75°范围内的理想参数

Table 2 Ideal parameters during the angle of head was in 45°~75°

The angle of the head / (°)	45~75
Laser power / W	1400~1800
Scanning velocity / (mm/s)	1.5~2.5
Powder feeding / (g/min)	15~20
Gas feeding / (L/min)	4.0~6.5

3.2 工业应用

淬火实验所用零件是蜗杆轴,它广泛应用于现代机械产品中,其特殊的物理结构及用途,要求其具有较高的硬度。常规的淬火工艺无法满足其性能要求,为此应用激光淬火的方法提高其硬度。由于蜗杆轴型面较复杂,本身曲面较多,为此采用三维运动光束头对其进行加工。

实验采用激光功率为 $P=1200\text{ W}$,扫描速度为 15 mm/s ,离焦量为 20 mm ,在这一过程中,光束头旋转角度为 25° ,如图 6 所示。

为了验证淬火效果,对已经淬火完毕的零件进

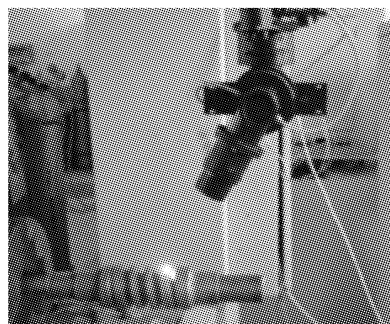


图 6 蜗杆轴及淬火现场照片

Fig. 6 Screw and the scene of laser quenching

行硬度测试,如图 7 所示。可以看出,经激光淬火的蜗杆轴,其硬度显著提高且较为均匀,在满足客户要求的同时很大程度上提高了其寿命。

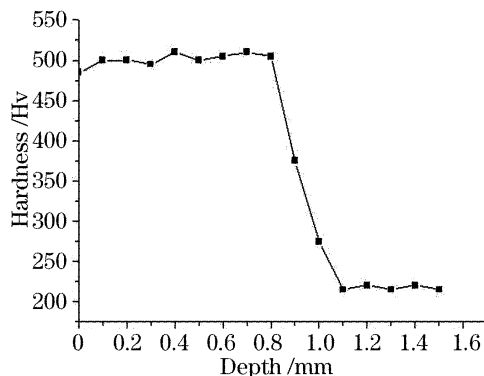


图 7 激光淬火硬度曲线

Fig. 7 Hardness curve of laser quenching

修复实验所用的零件是火车内燃机气门阀,它的主要作用在于密封,但是由于长期工作其边缘很容易磨损而使其失去使用能力。随着激光再制造技术的兴起,磨损的气门阀仍具有使用价值,通过激光熔覆的方式可以对其进行修复。由于气门阀边缘是复杂曲面,普通的光束头不能满足激光再制造的要求,为此,采用三维运动光束头,利用其空间工作能力对气门阀进行激光熔覆。

采用熔覆层材料 Ni45,粉末粒度 $-120\sim 320$ 目,其他实验参数:激光功率 $P=1400\text{ W}$,扫描速度

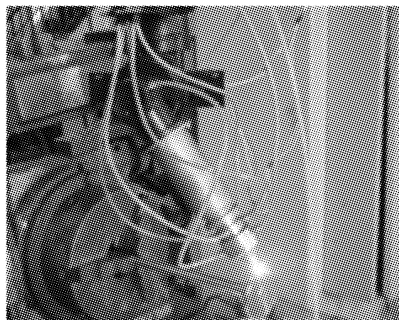


图 8 火车内燃机气门杆实体及修复现场

Fig. 8 Valve pole of train gas engine and the scene of laser repairing

3 mm/s,离焦量 20 mm,送粉率 12 g/min,在这一过程中,光束头旋转角度为 30° ,如图 8 所示。

熔覆层结合面微观照片如图 9(a)所示,Ni 基金合金熔覆层相当致密,而且与基体表面形成冶金结合。图 9(b)是熔覆层和基体结合区组织照片,熔覆层组织均匀,枝晶组织致密。

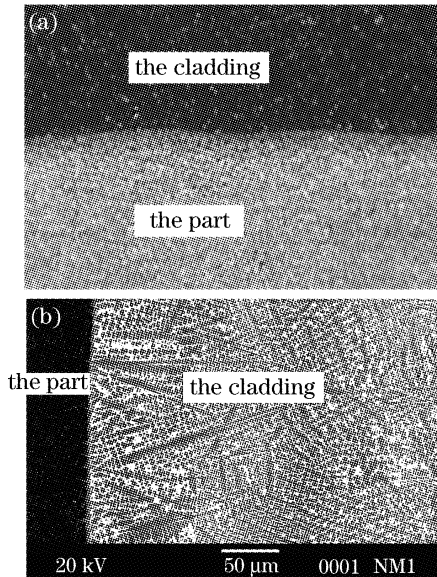


图 9 组织微观照片。(a)熔覆层结合面;(b)熔覆层和基体结合区

Fig. 9 Photograph of microstructure. (a) combining surface of cladding layer; (b) combining section cladding layer and substrate

因此,三维运动光束头在零件再制造尤其是在复杂型面零件的再制造方面起到至关重要的作用,经激光技术加工的零件,其综合性能都有显著提升。

4 结 论

1) 设计制造的三维运动光束头,能够绕水平轴 $-60^\circ \sim +60^\circ$ 摆动,绕垂直轴 $0^\circ \sim 360^\circ$ 转动。它迎合激光再制造技术的需要,解决了复杂型面零件的再制造难题。

2) 功率、离焦量、扫描速度等参数一定的情况下,随着光束头摆动角度的增加,熔覆效果越来越不理想,理想的摆动范围为 $0^\circ \sim 45^\circ$ 。随着光束头摆动

角度的增大,可以通过相应提高激光功率和增大送粉率、载气量的方法来提高熔覆质量。

3) 激光熔覆实验是激光功率、离焦量、扫描速度、光束头摆动角度等参数综合作用的结果,为获得理想的熔覆效果应在参数范围内合理调节。

4) 三维运动光束头在激光再制造工业应用实验中取得很好的效果。

参 考 文 献

- 1 Yang Xichen, Li Huishan, Liu Yunwu *et al.*. Laser remanufacturing technology and its industrial application [J]. *China Surface Engineering*, 2003, **23**(4): 43~46
杨洗陈,李会山,刘运武等. 激光再制造技术及其工业应用 [J]. 中国表面工程, 2003, **23**(4): 43~46
- 2 Yang Xichen, Li Huishan, Wang Yunshan *et al.*. Laser refabricating technology for repairing some of expensive and important equipments [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2003, **40**(10): 53~57
杨洗陈,李会山,王云山等. 用于重大装备修复的激光再制造技术 [J]. 激光与光电子学进展, 2003, **40**(10): 53~57
- 3 Ye Heqing, Wang Zhongke, Xu Desheng *et al.*. Study on the laser repairing surface crack of steel components [J]. *Chinese J. Lasers*, 2001, **A28**(11): 1045~1048
叶和清,王忠柯,许德胜等. 碳钢件表面裂纹缺陷激光修复研究 [J]. 中国激光, 2001, **A28**(11): 1045~1048
- 4 Zhu Beidi, Zeng Xiaoyan, Hu Xiang *et al.*. Laser cladding of moving blades in the lower pressure—last stage of steam turbines [J]. *Chinese J. Lasers*, 1994, **A21**(6): 526~529
朱蓓蒂,曾晓雁,胡项等. 汽轮机末级叶片的激光熔覆研究 [J]. 中国激光, 1994, **A21**(6): 526~529
- 5 Zhang Song, Kang Yuping, Zhu Jingpu. Application of laser cladding to air-blower vane [J]. *Chinese J. Lasers*, 1995, **A22**(5): 395~400
张松,康煜平,朱荆璞. 鼓风机叶片激光熔覆的应用研究 [J]. 中国激光, 1995, **A22**(5): 395~400
- 6 Shi Shihong, Wang Xinlin. Experiment study on laser cladding of sealing surface of valve for petrochemical industry [J]. *Laser Technology*, 1998, **22**(6): 333~335
石世宏,王新林. 激光熔覆化工阀门密封面的实验研究 [J]. 激光技术, 1998, **22**(6): 333~335
- 7 Zhou Xiaowei, Wang Xiaozhen. Application of the laser processing technology in industry [J]. *J. Zhongzhou University*, 2005, **22**(4): 110~111
周笑薇,王小珍. 激光熔覆技术在工业中的应用 [J]. 中州大学学报, 2005, **22**(4): 110~111
- 8 Zhu Yinfeng, Wang Yunshan, Yang Xichen *et al.*. Design of 3D feeding head for laser rapid manufacturing [J]. *Applied Laser*, 2005, **25**(1): 13~16
朱银锋,王云山,杨洗陈等. 用于激光快速制造的三维送粉头的设计 [J]. 应用激光, 2005, **25**(1): 13~16