

激光熔覆同步送粉器的设计与应用

李朋¹, 杨慧宾², 张炳春², 杨柯², 李玉海¹

(1. 沈阳理工大学, 辽宁 沈阳 110168; 2. 中国科学院金属研究所, 辽宁 沈阳 110016)

[摘要] 试验中发现,薄熔覆层要明显好于较厚熔覆层,为了获得较薄的熔覆层,根据螺旋传动的原理,设计和制作了激光熔覆同步送粉器,并用Ni基合金粉和Al粉进行了相关测试。试验结果表明:该送粉装置是连续和稳定的,改变螺纹轴直径或转速可以连续调节送粉速度。利用该送粉装置进行激光熔覆试验,获得了较薄且均匀的熔覆层,熔覆层的外型尺寸正确、表面比较平整、内部组织均匀细小。对激光熔覆技术在实际中的应用,尤其是激光在材料修复方面的应用具有实用价值。

[关键词] 激光熔覆;螺旋式送粉器;锯齿型螺纹轴;熔覆层;激光修复

[中图分类号] TG146.1; TQ630.5

[文献标识码] B

[文章编号] 1001-3660(2007)01-0081-03

Design and Application of Synchronous Powder Feeder for Laser Cladding

LI Peng¹, YANG Hui-bin², ZHANG Bing-chun², YANG Ke², LI Yu-hai¹

(1. Shenyang University Science and Technology, Shenyang 110168, China;

2. Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

[Abstract] It is concluded that the thinner coating is better than the thicker one, in order to acquire thinner coating, based on the screw driving principle, a synchronous powder feeder for laser cladding is designed and manufactured, by which the relevant tests are made with Ni-based alloy powders and Al powders. The experimental results show that the device is continuous and stable. Through changing the diameter of thread spindle or the speed of rotation, the speed of powders feeder can be adjusted continuously. The thinner and homogenous coating is acquired by using the device in the laser cladding experiment. The shape is right, the surface is smooth, and the microstructure is finer. This work has a valuable meaning in practical application for the laser cladding technique, particularly in the aspect of the laser repair of materials.

[Key words] Laser cladding; Screw powder feeder; Saw-tooth thread spindle; Coating; Laser repairing

0 引言

国内激光熔覆的研究始于20世纪70年代初,到20世纪80年代已发展成为表面工程、摩擦学、应用激光等领域的前沿性课题。进入20世纪90年代后,该领域的科学研究与应用开发都蓬勃发展^[1],在工业上已经有了一些实际应用,尤其在轧辊行业中利用激光熔覆技术对轧辊表面进行改性和修复已成为国内外普遍关注的实际问题^[2]。作为影响熔覆层质量重要因素之一的送粉技术及送粉装置也受到了越来越多的重视。目前激光熔覆送粉方式主要有2种,即预置粉末法和同步送粉法。

预置粉末法是将待熔覆的合金粉末用适当的方法预先覆盖在基材的表面,然后用激光束扫描。同步送粉法是通过送粉装置在激光熔覆的过程中将合金粉末直接送入激光作用区,在激光作用下基材和合金粉末同时熔化,结晶形成合金熔覆层。后一种方法的优点是工艺过程简单,合金材料利用率高,可控性

好,容易实现自动化。因此,同步送粉法是激光熔覆技术的首选送粉方法,国内外实际生产中采用较多^[3]。

同步送粉激光熔覆中合金粉末是由送粉器传送到激光熔池中的,目前专门应用于该项技术的送粉设备有自重力送粉器、刮板式送粉器、刮吸式送粉器、毛细管送粉器等。以上这些送粉器都有各自的特点,适合于不同的情况^[4-5]。

为了满足获得较薄熔覆层的需要,本文设计并制作了一种螺旋送粉器,它具有送粉速度较小且可调、送粉均匀、稳定的特点,对激光熔覆技术的实际应用具有一定的实用价值。

1 螺旋送粉器的原理和特点

螺旋送粉器的结构如图1所示。送粉器工作时,电机带动螺纹轴旋转。粉仓中的合金粉末在重力和粉仓壁压力的共同作用下填充螺纹沟槽,转动的螺纹对沟槽中的合金粉末产生向下的压力,粉末在压力的作用下流出粉仓,进入导管中,在重力的作用下从喷嘴中喷出,再由喷嘴输送至激光作用区。

螺纹轴是整个装置中的关键部件,其直径、牙型、螺距、齿高等参数对传输粉末有直接影响。本文所述的是自制锯齿型螺纹

[收稿日期] 2006-10-30

[作者简介] 李朋(1980-),男,辽宁辽阳人,在读硕士,从事激光熔覆、表面改性等方面的研究。

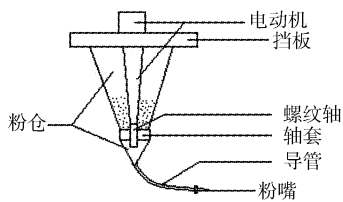


图1 螺旋送粉器示意图

Figure 1 Schematic of the screw powder feeder

轴,它比普通螺纹轴具有更好的传动能力。图2为自制螺纹轴及轴套照片。工作时螺纹轴与轴套接触面不宜过大,否则螺纹轴会与轴套产生较大的摩擦阻力,影响传送效果和螺纹轴的使用寿命。

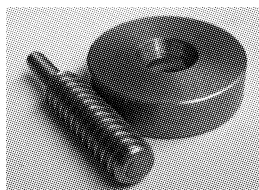


图2 锯齿型螺纹轴

Figure 2 Saw-tooth thread spindle

本文设计和制作的螺旋式送粉器结构简单、制造方便,通过调节螺纹轴转速和选用不同的螺纹轴参数,可有效调节粉末传输速度。该螺纹轴可在送粉量很小的情况下实现均匀、不间断送粉。

2 送粉速度计算

2.1 标准螺纹轴

对于标准螺纹轴,根据机械手册中所示的各个参数之间的几何关系和梯形面积公式,有(1)式存在:

$$S = \frac{1}{2} \left(\frac{7}{8}p + \frac{1}{4}p \right) \times \frac{5}{8}H = 0.35pH \quad (1)$$

式(1)中, S 为螺纹沟槽横截面积, mm^2 ; p 为螺距, mm ; H 为螺纹原始三角形的高, mm 。

$$\text{由于: } H = \frac{\sqrt{3}}{2}p \quad (2)$$

$$\text{所以: } S = 0.3p^2 \quad (3)$$

根据直角三角形中的勾股定理:

$$L = \sqrt{(\pi d_2)^2 + p^2} \quad (4)$$

式(4)中, L 为沿螺纹中径旋转1周的线长度, mm ; d_2 为螺纹中径, mm 。则螺纹沟槽旋转1周的体积 $V(\text{mm}^3)$ 可表示为:

$$V = SL = 0.3p^2 \sqrt{(\pi d_2)^2 + p^2} \quad (5)$$

送粉速度 $V_g(\text{g/min})$ 可表示为:

$$V_g = V\rho h = 0.3k_1\rho h p^2 \sqrt{(\pi d_2)^2 + p^2} = k\rho h p^2 \sqrt{(\pi d_2)^2 + p^2} \quad (6)$$

式(6)中, h 为螺纹轴转速, r/min ; ρ 为粉末密度, g/mm^3 ; k_1 为调整系数, $k = 0.3k_1$ 。

调整系数 k_1 与螺纹轴参数、粉末尺寸、粉末在螺纹中的填充程度、螺纹轴传输效率及螺纹轴转速等因素有关。

2.2 自制锯齿形螺纹轴

对于自制锯齿形螺纹轴, S 可视为长为 p 、宽为齿高的矩形面积的一半,则有:

$$S = \frac{1}{2}p(d_1 - d_3) \quad (7)$$

式(7)中, d_1 为螺纹大径, mm ; d_3 为螺纹小径, mm 。式(5)和式(6)变为:

$$V = SL = \frac{1}{2}p(d_1 - d_3) \sqrt{(\pi d_2)^2 + p^2} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} V_g &= V\rho h = \frac{1}{2}p\rho h(d_1 - d_3) \sqrt{(\pi d_2)^2 + p^2} \\ &= k\rho h p(d_1 - d_3) \sqrt{(\pi d_2)^2 + p^2} \end{aligned} \quad (9)$$

如果螺纹轴和粉末选定,那么螺纹轴本身参数和粉末密度均可视为常数,再把该线性方程写成标准形式,可得到便于在实际中应用的一次方程。这样式(9)就可以简化为:

$$V_g = k_2 h + B \quad (10)$$

式中, k_2 、 B 均为常数。可见送粉速度只与螺纹轴转速有关,并呈线性对应关系。但由于诸多因素的影响,如粉末自身重力、粉末的流动性、粉末在螺纹中的填充程度等,理论计算结果与实际测量结果会存在一定偏差。另外,螺纹轴在不同转速下的效率也是不同的。

3 送粉器测试

3.1 送粉速度

用粒径 $150\mu\text{m}$ 的 Ni25 粉末对该送粉器进行测试,得到送粉速度随螺纹轴转速的变化规律,如图3所示。

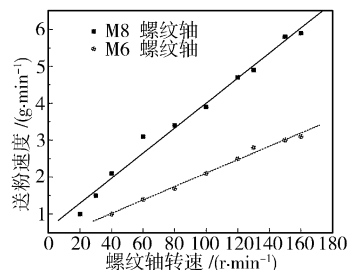


图3 送粉速度随螺纹轴转速的变化曲线

Figure 3 The curve of powder feeding rate vs speed of rotation

从图3中可以看出,送粉速度与螺纹轴转速基本成线性对应关系,螺纹轴转得越快,相应的送粉速度也就越大。在同一转速下,不同直径螺纹轴的送粉速度也是不一样的,直径大的螺纹轴送粉速度也大,反之则较小。而且送粉速度随螺纹轴转速的变化率(图中直线的斜率)也有所不同,直径较大的螺纹轴变化得快,较小的变化得慢。这样,当需要较大送粉速度时,可以选用大直径的螺纹轴;需要较小送粉速度或要精确调节时,可以选用小直径的螺纹轴。

根据图3中的直线,将有关数据带入送粉速度计算公式得:

$$\text{M8 螺纹轴: } V_g = 0.68h + 0.62$$

$$\text{M6 螺纹轴: } V_g = 0.37h + 0.29$$

3.2 送粉器的稳定性

为了验证螺纹轴送粉的稳定性,在不同转数下,每隔一定时

间对出粉量进行测量。试验选用较软的 Al 粉, 粒径为 $100\mu\text{m}$, 结果如图 4 所示。

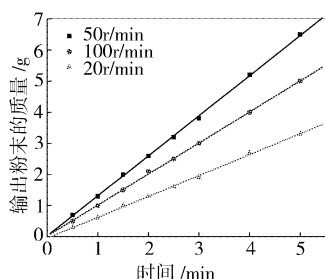


图4 输出粉末的质量随时间的变化曲线

Figure 4 The curve weight of powder vs time

从图 4 中可以看出, 在不同转速下, 每隔一定时间粉末增量基本呈线性变化规律, 说明粉末的流速是不变的, 也就是说该螺旋送粉器的稳定性良好。从图 4 中还可以看出, 螺旋轴转速为 $100\text{r}/\text{min}$ 时的粉末流速比 $50\text{r}/\text{min}$ 时的慢。这可能是由于 Al 粉的流动性不是很好, 当螺旋轴转速较高时, 粉末在螺旋中填充得不够充实, 使粉末流速反而不如 $50\text{r}/\text{min}$ 时快。但无论粉末流速快慢, 送粉器都是非常稳定的。

在试验中发现, 如果使用较硬的合金粉末 (如 Ni25 粉末), 那么螺旋轴及其轴套的磨损很严重, 需要根据使用情况定期更换螺旋轴及其轴套。

4 试验结果与讨论

在参数激光功率 $W = 1050\text{W}$ 、光斑直径 $\phi = 1\text{mm}$ 、送粉速度 $V_g = 3.5\text{g}/\text{min}$ 、扫描速度 $V = 900\text{mm}/\text{min}$ 时, 进行了熔覆试验, 熔覆层的尺寸为 $20\text{mm} \times 40\text{mm}$, 图 5 为熔覆层照片。

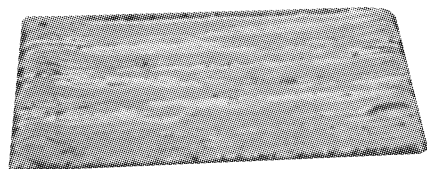


图5 激光熔覆层

Figure 5 Laser cladding coating

试验表明, 送粉速度对气孔、裂纹等涂层缺陷有重要影响。图 6 为其它参数相同, 送粉速度不同条件下熔覆层的金相照片。从图中可以看到, 图 6b 中的气孔、裂纹等缺陷明显少于图 6a, 且组织均匀细小。这是由于送粉速度大时, 激光能量不足以熔化全部金属粉末, 未熔化的金属粉末分布于熔覆层中, 在粉末聚集处产生空洞, 也造成了组织的不均匀。此时熔池较深, 且熔化不充分, 快速熔化和凝固过程使得液体不能充分搅拌, 熔池中的气体来不及充分释放, 这也是厚熔覆层组织不均匀, 并含有较多气孔的原因之一。送粉量大时, 由于熔覆层较厚, 快速凝固后产生的内应力较大, 且不能及时释放, 这也是产生裂纹的一个原因。可见, 熔覆层的厚度, 即送粉量对熔覆层质量的影响是非常明显的。

降低熔覆层厚度的方法主要是增大扫描速度和减小送粉速度。如果扫描速度过快, 粉末加热时间太短, 会使粉末间的气体来不及排出, 易在熔覆层中产生气孔^[6]。所以, 减小送粉速度成为获得较薄熔覆层的必然选择, 在较小的送粉速度下要求粉末流连续、

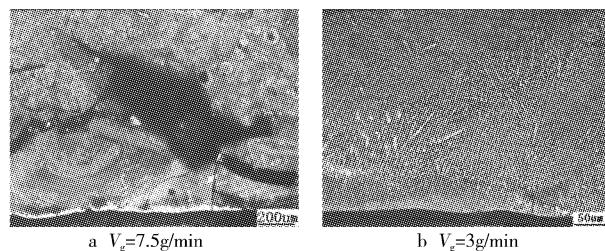


图6 不同送粉速度下熔覆层显微组织

Figure 6 Microstructures of coating in different speed of powders feeding
均匀和稳定。本文设计制造的螺旋送粉器, 在送粉量较小的前提下实现了送粉速度的均匀可控, 得到了较好的熔覆层质量。

5 结论

本文根据螺旋传动的原理, 设计和制作了激光熔覆同步送粉器, 并用 Ni 基合金粉和 Al 粉进行了相应的测试和激光熔覆试验。研究表明, 熔覆层的厚度对其质量的影响非常显著, 采用较小的送粉速度是获得较薄熔覆层的有效方法。在较小的送粉速度下, 螺旋送粉器的粉末流连续、均匀且稳定, 可以得到较高质量的激光熔覆层。可以通过改变螺旋轴转速或螺旋轴参数的办法来调节送粉速度。由于螺旋轴磨损比较严重, 螺旋轴要选用耐磨材料, 根据使用情况及时更换。

【参考文献】

- [1] 郭桂芳, 陈芙蓉, 李林贺. 激光熔覆技术在钛合金表面改性中的应用[J]. 表面技术, 2006, 35(1): 66-69
- [2] 肖红军, 彭云, 马成勇, 等. 激光表面改性[J]. 表面技术, 2005, 34(5): 10-11
- [3] 闫忠琳, 叶宏. 激光熔覆技术及其在模具中的应用[J]. 激光杂志, 2006, 27(2): 73-74
- [4] 刘常乐, 杨洗陈, 王云山. 一种新型载气式激光熔敷送粉器[J]. 天津工业大学学报, 2003, 22(5): 30-33
- [5] 崔海涛, 李强, 武强, 等. 激光快速成型送粉器及其特性[J]. 北京工业大学学报, 2002, 28(3): 341-344
- [6] 薛春芳, 田欣利, 董世运, 等. 激光近成形金属零件过程中涂覆层的组织及性能[J]. 热加工工艺, 2004, (2): 13-15

《电镀合金实用技术》

屠振密教授主编

国防工业出版社 2007 年 1 月出版

本书主要内容分为三个部分共十章: 第一部分电镀合金预处理, 包括金属表面整平、抛光、脱脂、浸蚀及难镀金属预处理等。第二部分电镀合金工艺及特性, 内容包括电镀装饰性合金、电镀防护性合金、电镀功能性合金、电镀贵金属合金、电镀合金复合镀层、电镀非晶态合金及电沉积纳米合金等。第三部分是合金镀层的现代分析和检测方法, 并以实例加以说明。本书适合于从事表面处理、电镀、腐蚀与防护、电化学工程等领域的工程技术人员和大专院校师生使用和参考。字数 536 千字, 定价 48 元。