

基于光内同轴送粉技术的激光熔覆斜壁堆积成形研究

郁玲玲, 石世宏, 狄科云
(苏州大学机电工程学院, 江苏 苏州 215021)

摘 要: 基于光内同轴送粉技术, 提出了激光熔覆无支撑偏移堆积斜壁的方法。通过建立斜壁倾斜角度的模型, 分析了偏移量、机床扫描速度与送粉速度对角度的影响, 并总结出保证斜壁成功堆积的偏移率范围。

关键词: 激光熔覆; 斜壁; 光内同轴送粉; 偏移

中图分类号: TN249

文献标识码: A

Research on the Laser Cladding Inclined Wall Accumulation Based on the Internal Laser Coaxial-powder Feeding Technology

YU Ling-ling, SHI Shi-hong, DI Ke-yun

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Suzhou University, Suzhou 215021, China)

Abstract: Based on the internal laser coaxial-powder feeding technology, it brought up a method of laser cladding inclined wall accumulation without support. Through the establishment of oblique angle of the wall model, analysed the impacts of offset, machine scanning speed and feeding rate on the angle, and summed up the wall to ensure the successful ramp of the migration rate of accumulation.

Key words: laser cladding; inclined wall; internal laser coaxial-powder feeding; offset

1 引 言

激光熔覆成形突破了目前快速成形技术多用来制造原型和模型的现状, 能直接制造高性能金属零件。对于倾斜侧壁的结构, 非金属原型的成形工艺中, 一般都是采用支撑的方式来解决斜壁的成形问题。而对于金属零件斜壁成形, 由于支撑材料、工艺局限等诸多因素的影响, 在成形过程中很难采用支撑的方式来解决, 只能采用无支撑堆积方式。

本文提出了激光熔覆斜壁堆积成形方法, 在一定的假设和简化条件下, 推导了斜壁倾斜角度与偏移量、扫描速度、光斑直径等工艺参数之间的定量表达式, 定性分析了影响因素。通过光内同轴送粉的试验对其进行了验证, 为堆积更为复杂的异型体提供了理论依据。

2 激光熔覆光内同轴送粉简介

激光熔覆快速成形过程是一个涉及光、粉、气和水冷等的复杂过程, 要获得高质量的零件, 就要求在

成形过程中能够做到送粉准确、均匀、稳定和可控且光、粉耦合性好, 但侧向送粉和多粉路同轴送粉的成形方式大大限制了光粉耦合性, 在一定程度上很难做到送粉准确, 大大影响了成形件的质量。为此, 本课题组提出了一种“光束中空, 粉管居中, 光内送粉”的方案, 通过特殊的光学系统将传统的圆锥形聚焦激光束变换为中空圆锥形聚焦激光束, 合金粉末可以正向垂直输送到激光光斑中, 并设计了光内同轴送粉喷头, 此同轴送粉喷头具有支撑定位光学镜片结构、水冷却通道、保护气系统、同轴粉末流通道和自动调节装置等激光熔覆快速成形送粉喷头基本结构。新型光路变换系统下的加工示意图如图1所示。

基金项目: 江苏省自然科学基金 (No. BK2006052) 资助。

作者简介: 郁玲玲, 女, 在读研究生。E-mail: yulingling19830819@163.com

收稿日期: 2008-09-05

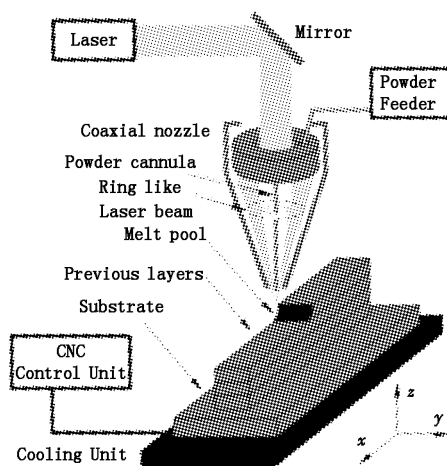


图1 新型光路变换系统下的加工示意图

与传统的侧向送粉和多粉路同轴送粉的成形方式相比,光内同轴送粉工艺具有以下优势:

- 1) 实现了光内同轴正向垂直送粉,大大提高了光粉耦合度,消除了熔覆过程的方向性问题。
- 2) 在同轴喷嘴中加入了保护气体,形成气帘,有效防止了粉末的飞溅,提高了粉末利用率,保持加工环境的清洁。同轴气套和送粉头如图2所示。

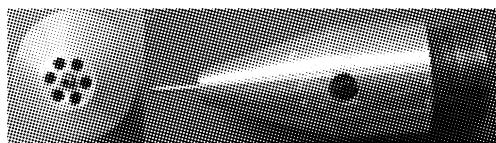


图2 同轴气套和送粉头

- 3) 由于光粉实现了完全的同轴,因此可以根据加工需要改变离焦量。

3 斜壁倾斜角度模型的建立

3.1 相关假设

为了本研究计算方便并不失有效性,作如下假设:

- (1) 激光功率密度在任意水平截面光斑内均匀分布。
- (2) 粉末粒子向外辐射和粉末粒子间的对流换热稳定且吸收率、反射率不随自身温度的变化而变化,始终为一常数。
- (3) 忽略基体和熔覆层反射光对粉末粒子温度的影响。
- (4) 本模型中的熔覆层为长方体:熔覆层宽度等于激光光斑大小即等于光斑直径 d ,且在堆积过程中熔覆层宽度、熔覆层厚度大小均不变。

3.2 模型建立

根据以上假设,做出如图3所示模型示意图。

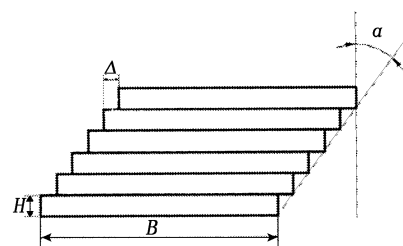


图3 模型示意图

图中, B 为熔覆层的宽度; H 为熔覆层的厚度; Δ 为偏移量; α 为倾斜角度。

由图3可知:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta}{H} \quad (1)$$

因为:

$$m = \rho \cdot H \cdot L \cdot d \quad (2)$$

式中, m 为单道熔覆层的质量; ρ 为 Fe313 合金粉末的密度; d 为熔覆层宽度。

又因为:

$$m = V_f \cdot t \cdot \eta \quad (3)$$

式中, V_f 为送粉的速度; t 为单道熔覆的时间; η 为激光与粉末相互作用的效率。

由式(2)、式(3)可知:

$$H = \frac{V_f \cdot t \cdot \eta}{\rho \cdot L \cdot d} \quad (4)$$

又因为:

$$L = V \cdot t \quad (5)$$

式中, V 为机床的扫描速度。

将公式(4)、式(5)代入式(1)可得:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta}{H} = \frac{\Delta}{\frac{V_f \cdot t \cdot \eta}{\rho \cdot L \cdot d}} = \frac{\Delta \times \rho \times V \times d}{V_f \times \eta} \quad (6)$$

由式(6)可得:

$$\alpha = \arctan \frac{\Delta \times \rho \times V \times d}{V_f \times \eta} \quad (7)$$

根据倾斜角度的表达式可知:用同种粉末熔覆倾斜墙体,倾斜角度 α 与偏移量 Δ 、机床的扫描速度 V 及光斑直径 d 成正比,与送粉速度 V_f 和粉末利用率 η 成反比。本文只分析对倾斜角度影响较大的工艺参数:偏移量 Δ 、机床的扫描速度 V 与送粉速度 V_f 。

4 试验分析及讨论

根据研究参数,设计了如下正交实验。不同工艺参数下斜壁的倾斜角度如表1所示。偏移量与倾斜角度的关系如图4所示。

表1 不同工艺参数下斜壁的倾斜角度

次序	功率 /kW	送粉 速度 g/min	扫描 速度 mm/s	厚度 /mm	偏移 0.1 mm $\alpha/(^{\circ})$	偏移 0.15 mm $\alpha/(^{\circ})$	偏移 0.18 mm $\alpha/(^{\circ})$	偏移 0.2 mm $\alpha/(^{\circ})$	偏移 0.22 mm $\alpha/(^{\circ})$
1	2.5	4.41	5	3.2	18.52	21.57	25.64	30.65	Fail
2	2.5	4.41	6	3.1	18.93	22.88	27.04	32.12	Fail
3	2.5	2.86	5	2.9	19.61	24.41	28.67	Fail	
4	2.5	2.86	6	2.75	20.72	26.53	30.23	Fail	

其中,厚度是指单道熔覆层的厚度, $\alpha = \arctan \frac{\Delta}{H}$ 。

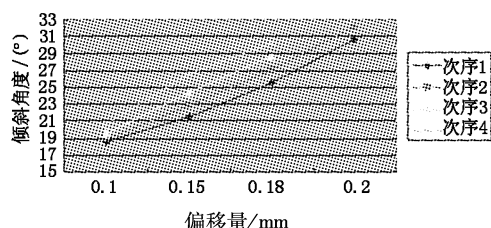


图4 偏移量与倾斜角度的关系

由表1可知,偏移量增加会使倾斜角度也随之增加;而当偏移量和扫描速度一定时,由式(1)可知:斜壁的倾斜角度与熔覆层的高度呈反比,所以降低送粉速度可以增加斜壁的倾斜角度,这是因为降低送粉速度导致单位时间内熔化的金属粉末减少,使得单道熔覆层的宽度和高度都有所下降;当偏移量和送粉速度一定时,增加扫描速度可以增加斜壁的倾斜角度,这是由于增加扫描速度后,单位时间内进入熔池的金属粉末少,激光作用在熔覆面上的时间也缩短,形成熔池的粉末量减少,导致熔覆层高度显著降低,同理增加扫描速度可以增加斜壁的倾斜角度。

同时,由试验还发现当偏移量过大,就会出现熔覆层悬伸端产生塌陷的现象,从而影响连续成形加工进程,因此存在一个倾斜的极限角。

这里引入层间偏移率的概念:设熔覆层宽度为 B ,偏移量为 Δ ,则层间偏移率可用下式表示:

$$\psi = \frac{\Delta}{B} \times 100\% \quad (8)$$

层间偏移率示意图如图5所示。不同宽度熔覆层的不同偏移率如表2所示。

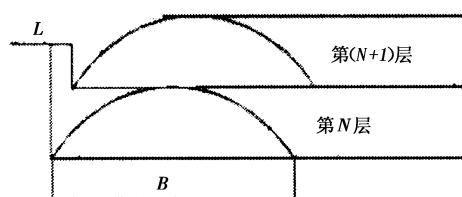


图5 层间偏移率示意图

表2 不同宽度熔覆层的不同偏移率

次序	宽度 /mm	OK 偏移量 /mm	Fail 偏移量 /mm	OK 偏移 率/%	Fail 偏移 率/%
1	3.2	0.2	0.22	6.25	6.88
2	3.1	0.2	0.22	6.45	7.10
3	2.9	0.18	0.2	6.21	6.90
4	2.75	0.18	0.2	6.54	7.27

由表2可知,对于不同宽度的熔覆层,其偏移率在(0~6%)这个范围之内变化,总能形成不同角度的斜壁成形件,当偏移率超过了7.5%,斜壁的堆积试验就无法顺利进行下去。因此,为了保证斜壁墙体堆积试验的顺利进行,我们应合理选用偏移量,尽量使偏移率小于6%。

基于上述研究,本文进行了大量的无支撑偏移堆积斜壁实体的试验,所得成形件基本上满足试验需求,但还是存在缺陷特征,包括斜壁内外表面粗糙度不一致、斜壁上下厚度不一致、斜壁呈下宽上窄的梯形等。经过分析,做了一些工艺改进,最终得到比较成功的成形件,如图6所示。

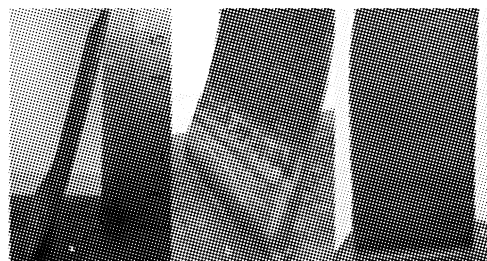


图6 成形实验的斜壁成形件

5 结论

无支撑斜壁实体的堆积是一个多参数共同影响的复杂过程,在合理的偏移率前提下,适当增加偏移量及机床扫描速度,降低送粉速度,均可相应增加斜壁的倾斜角度。

参考文献:

- [1] 邓琦林,胡德金. 激光熔覆快速成型致密金属零件的试验研究[J]. 金属热处理,2003,8(2):33-38.
- [2] 张庆茂. 送粉式激光熔覆熔池深度的分析模型及其影响因素[J]. 焊接学报,2000,21(4):42-45.
- [3] 郑启光. 激光先进制造技术[J]. 信息与开发,1999,4:6-9.
- [4] 马静. 基于PMAC的快速成形轮廓运动控制研究[J]. 机械设计与制造,2007,1:27-29.