

自动送粉激光熔覆装置及工艺研究*

曾晓雁 朱蓓蒂 陶曾毅 房大川 崔崑

(华中理工大学机二系, 武昌 430074)

摘要 研制了一种工作稳定性好、粉末流量连续可调的自动送粉装置。经 A₃ 钢表面激光熔覆 WF-150 不锈钢合金粉末的研究表明, 所获得的激光熔覆层均匀连续、无宏观气孔和裂纹, 粉末利用率高达 94%。

关键词 激光熔覆, 自动送粉装置, 激光工艺参数, 粉末利用率

Investigation of auto-feeding powder apparatus and technology for laser cladding

Zeng Xiaoyan, Zhu Beidi, Tao Zengyi, Fang Dachun, Cui Kun

(Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract An auto-feeding powder apparatus with good working stability and continuous adjustment of powder flow rate has been developed for laser cladding, in which the main power of the powder motion is gravity. The cladded coating is uniform and continuous. The utilization ratio of the alloy powders is as high as 94%.

Key words laser cladding, auto-feeding powder apparatus, laser processing parameters, utilization ratio of powders

1 引言

激光熔覆工艺主要有两种: 预置涂层法和同步送料法。研究表明, 同步送料法不仅易于控制和调节工艺参数, 且具有比预置涂层法耗能少、对激光能量吸收率高等特点^[1]。因此, 自 D. S. Gnanamuthu 等人于 1976 年首次申报自动送丝激光熔覆装置的专利以来^[2], 业已研制了各种各样的送料装置。由于合金粉末对激光能量的吸收率要比合金丝高, 因此, 国内外的研究工作重点主要放在送粉装置上, 并针对激光熔覆工艺参数进行了许多研究。

自动送粉激光熔覆过程中粉末利用率的高低, 是衡量送粉装置特性的重要指标之一。以往的研究虽然指出自动送粉熔覆工艺中粉末损耗大、利用率低的问题, 但未给出粉末利用率的具

收稿日期: 1991年10月3日; 收到修改稿日期: 1992年3月16日。

*湖北省自然科学基金资助项目。

体值及其测定方式。

本文在新发展的自动送粉装置基础上,采用 2 kW CO₂ 激光器在 A₃ 钢表面熔覆不锈钢合金粉,测定了激光熔覆过程中的粉末利用率,分析了减少损耗的途径。

2 实验材料、设备及方法

2.1 试验材料

本实验分为激光熔覆工艺参数研究和粉末利用率测定两部分。

激光熔覆工艺参数研究是采用 40×5 mm² 的 A₃ 带钢为母材,经酸洗除锈后,切成 5×40×60 mm³ 的板状试样,用砂纸蹭去余锈,酒精去除油污后,烘干备用。

粉末利用率测定试验用材为 20 Ni₄Mo 钢(退火态),试样尺寸为 44×9.5×7.8 mm³,其余准备同上。

用于激光熔覆用的合金粉末为 WF150 不锈钢粉,其化学成份为: Ni-wt 29.7%, Cr-Wt 14.8%, W-Wt 4.5%, Mo-Wt 0.9%, Si-Wt 2.0~3.0%, B-Wt 1.0~2.0% 和 Fe。

2.2 激光器及工作台

激光器是采用 HGL-81 型连续 CO₂ 激光器,光束输出模式:多模,最大输出功率 2.2 kW,工作台为 $x-y$ 二坐标数控精密工作台。

2.3 自动送粉装置

本实验中所采用的自动送粉装置示意图见图 1。其工作原理为:由电机经蜗轮蜗杆带动平面转盘转动,使储粉漏斗中的粉末源源不断地流至平面转盘上。当载有粉末的转盘转至挡板处时,原与转盘同步运动的粉末受阻而在挡板前堆积,当堆积量达到一定值时,便沿转盘边缘稳定持续落至漏斗中,经管道送至激光作用区,在粉末输送过程中,重力为主要驱动力,辅助气体的作用主要是减少粉末在管中运动时的

摩擦力,调节粉末束流出的速度及其落在金属表面的位置。该装置原用于等离子喷涂,其输送粉末的基本原理是利用储粉漏斗与送粉管道之间的气体压力差带动粉末运动。由于气体流量相当大,因而粉末流速高,粉末自出粉嘴流出后发散角大。对该装置进行原理上的改进之后,大大地降低了粉末流速与粉末束流发散角,而且流速稳定,动态测量时误差不超过±3%。通过对出粉嘴尺寸大小的更换,可适合于-50 目至+320 目的粉末。

粉末流量由储粉漏斗出粉嘴直径及其离转动平板距离、转动平板转速(通过电机调速)几个因素控制,可控范围相当大。在其它条件固定时,调节电机电压就可以方便地调节粉末流量。

2.4 自动送粉激光熔覆试验工艺参数的研究

试验表明,激光熔覆时,影响熔覆层质量的重要参数之一就是粉末束流落在激光作用区的位置。可能的典型位置共有三个:激光作用区后部、前沿与前方,如图 1 中的 a 、 b 、 c 位置所示。

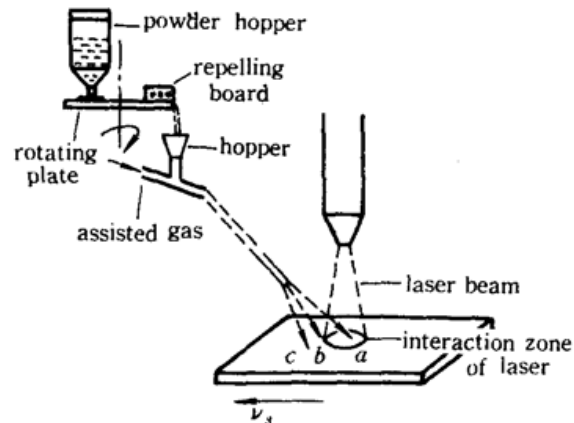


Fig. 1 Schematic diagram of auto-feeding apparatus

重复试验表明,粉末束流打在激光作用区的前沿效果最佳(即图 1 中的 b 位置)。本研究中的激光熔覆试验均在此条件下完成。

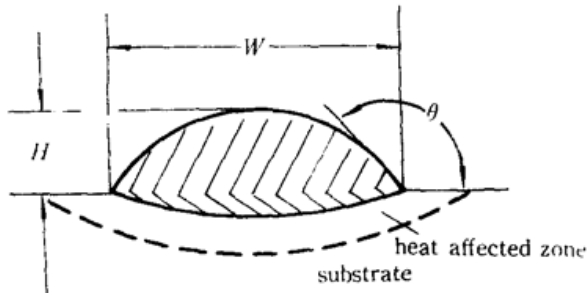


Fig. 2 Size parameter definition of cladded coating

本试验中,采用的激光熔覆参数为:功率 $P = 2.0 \text{ mW}$,光斑直径 $d = 5.0 \text{ mm}$,扫描速度 $V_s = 3 \sim 20 \text{ mm/s}$,送粉量 $V_g = 11.9 \text{ g/min}$ 。

激光熔覆试验后,先用砂轮切割机将试样横切为三段,每段试样取一个截面,经砂轮打平,金相砂纸粗磨后,用游标卡尺测量其宽度、高度和接触角 θ ,记录后取其平均值,绘成各曲线。宽度 W 、厚度 H 及接触角 θ 的定义见图 2。

2.5 粉末利用率的测定

将准备好的试样在化学天平上(精密度为 0.1 g)称重,记下其原始重量 Q_i ,用游标卡尺测量试样长度 L 三次,取其平均值。激光熔覆试验后,将试样用钢丝刷在盛有酒精的器皿中洗净、烘干后称重,记录此时的重量 Q_f ,则试样的实际增重为: $\Delta G_f = Q_f - Q_i$ 。由于选用的扫描速度 V_s 及粉末流量 V_g 均已知,则激光熔覆时试样的应增重量为 $\Delta G_r = (L/V_s)V_g$,此即为粉末的实际注入量,而 $\Delta G_f/\Delta G_r$ 即为粉末利用率。

3 试验结果与分析

3.1 粉末利用率测试结果与分析

粉末利用率的测试结果见表 1。可见,在本试验条件下,粉末利用率很高,且其值高低与激光工艺参数有关。当扫描速度大于一定值时,粉末利用率有所降低。

Table 1 Measurement results of utilization ratio of powder

Sample No.	Q_i (g)	L (mm)	P (kW)	d (mm)	V_s (mm/s)	V_g (g/min)	Q_f (g)	ΔG_f (g)	ΔG_r (g)	$\Delta G_f/\Delta G_r - y$ (%)
I	26.3	44.24	2	6	3.5	15.1	29.3	3.0	3.18	94.3
J	26.0	44.02	2	6	5.5	15.1	27.9	1.9	2.01	94.5
K	26.0	42.74	2	6	7.5	15.1	27.2	1.2	1.43	83.9

实际上,要获得高的粉末利用率,激光熔覆工艺参数必须满足如下条件:

1. 从送粉器出粉嘴流出的粉末束流的宽度应该不大于光斑直径,否则就会造成不必要的粉末损耗。显然,图 1 中的 a 位置,粉末在空中与激光束相交,部分粉末因未能吸收足够激光能量而溅出激光熔区,降低了粉末利用率。而图 1 中的 c 位置则因为超前于激光作用区,即在激光束照射之前粉末已部分地运动到激光作用区外,当然就降低粉末利用率。而位置 b 则可保证粉末束流直径和光斑直径的耦合,使全部粉末有机会吸收足够能量,因而是最理想的位置。

2. 从出粉嘴流出的粉末束流应能够吸收足够的能量而熔化。由比能的表达式 $P/V_s D$ 可以知道,随功率 P 的增加,扫描速度 V_s 及光斑直径 D 的降低,作用于试样表面的比能增加,因而粉末束流就可能有更多的机会吸收足够的能量而熔化,这就是为什么表 1 中当扫描速度增加到

一定值后,粉末利用率会降低的主要原因。另外,粉末束流进入熔池时瞬时速度(主要是其水平方向的分量)对粉末吸收激光束能量也会产生很大的影响。因为,尽管粉末进入熔池至熔化时,是一个急剧减速的过程,但其平均速度仍然是一个不可忽略的值。尤其是当瞬时速度很大时更是如此,它相当于在激光束扫描速度 V_s 上附加一个速度 V'_s (即瞬时速度 V_s 的水平分量),使实际的比能值变为 $P/(V_s + V'_s) \cdot D$ 。因此,尽量降低粉末流入射熔池的瞬时速度可进一步提高粉末利用率。

必须指出,除了上述因素外,激光束输出模式、熔覆层合金粉末的自身特性(如熔点等)及其对母材的润湿性等因素,都会对粉末利用率产生一定的影响。这些内容我们将在今后的工作中继续进行研究。

3.2 激光熔覆工艺参数分析

前已述及,激光熔覆工艺参数对熔覆层的质量有很大的影响。熔覆层的质量包括宏观与微观两部分。宏观质量是指熔覆层的高度 H 、宽度 W 、接触角 θ 和形状系数 $n(=W/H)$ 以及熔覆层的宏观连续性及宏观气孔等。在本实验条件下,可获得均匀连续的熔覆层(见图 3),因此熔覆层的宏观质量主要指其尺寸参数。熔覆层的微观质量则包括母材熔深(与稀释度大小有关)、熔覆层内气孔、裂纹以及熔覆层的组织特征及性能等等。本文只对熔覆层的宏观质量进行初步分析,有关宏、微观质量的详细分析我们将另文报道。

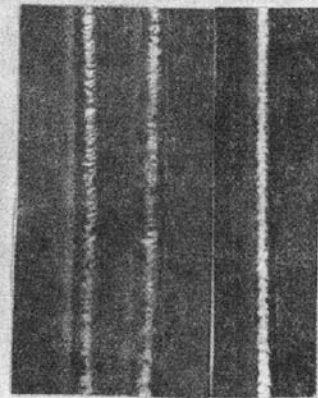


Fig. 3 Single pass morphology of cladded coating

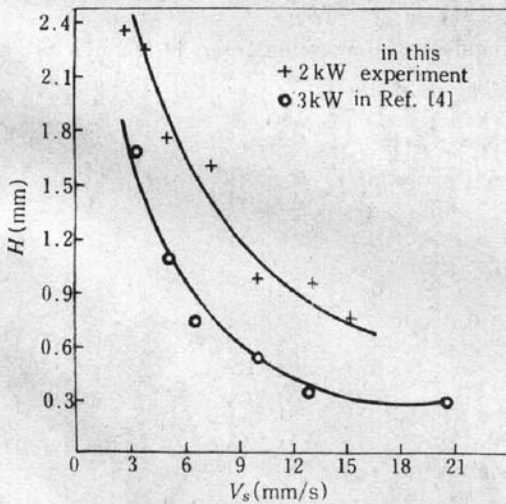


Fig. 4 Relationship between height and scanning rate

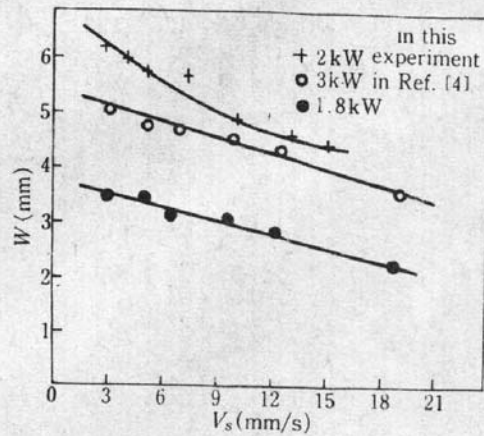


Fig. 5 Relationship between width and scanning rate

图 4、图 5 是熔覆宽度 W 、高度 H 与扫描速度 V_s 的关系。为便于分析本工艺的特点,将文献 [3] 所报道的 $H \sim V_s$ 、 $W \sim V_s$ 绘于同一图上。两者的参数比较见表 2。

Table 2 Parameter comparison between this experiment and those in reference [3]

	Model number	Powder composition	Powder P (kW)	Spot diameter d (mm)	Powder feeding (g/min)
In the present paper	A ₃ steel	WF-150 stainless steel powder	2	5	11.9
Reference [3]	En 3 steel	316 stainless steel powder	3, 1.8	5	12.7

可以看出,即使本实验条件下功率 P 值低于文献[3]所报道的 P 值,本实验中的 W 、 H 值仍远高于文献[3]所报道的 W 和 H 值。注意到表 2,两者材料的成份接近,其密度也应相当。前已述及,本实验条件下粉末利用率最高可达 94% 以上,这就说明,文献[3]的激光熔覆过程中存在大量的粉末浪费,使得其宽度与高度都较本实验条件下的结果低得多。我们认为主要有如下原因:(1)从该送粉器出粉嘴出来的粉末束流直径大于其有效光斑直径。由文献[3]可知,其出粉嘴直径为 3 mm,而其有效光斑直径从文献[4]图 11 的激光光斑烧样来看,也只有 3 mm 左右。而粉末束流射至激光作用区的过程中,必然存在着某种程度的发散,从而导致粉末束流直径大于激光光斑有效直径;(2)文献[3]的实验条件中,粉末束流速度高达 1.4 m/s,这就使粉末未能吸收的有效比能 $P/(V_s + V'_s) \cdot D$ 值相对降低,即一些粉末还未来得及熔化,就依惯性冲出激光作用区,形成“飞溅”,从而导致粉末利用率下降。

参 考 文 献

- 1 李力钧, J. Mazumder, 应用激光, 7(1), 1(1987)
- 2 D. S. Gnanamuthu, U. S. Patent, 3, 452, 180, 1976
- 3 V. M. Weerasigh, W. M. Steen, Lasers in Materials Processing, 1983, 166~173
- 4 V. M. Weerasigh, W. M. Steen, Proceeding of the first: International Conference on Lasers in Manufacturing, 1~3, Nov. 1983, Brighton UK, 125~132