

不锈钢表面超薄铜层的激光熔覆^{*}

宋永伦

J F Oliveria Santos

(广州 华南理工大学) (葡萄牙焊接与质量研究所)

摘 要 采用 CO₂ 激光器在 316L 不锈钢表面获得了超薄的铜熔覆层。文中分析和讨论了激光熔覆工艺参数如激光功率、熔覆速度、离焦量以及送粉率等对熔覆层质量的影响, 提出了熔覆工艺的优化方法, 使铜层的熔覆厚度可控制在 100 μ m 之内, 稀释率小于 10% 以及很小的热变形。

关键词: 激光熔覆 铜熔覆层 不锈钢

0 序 言

激光熔覆方法是一种获得复合材料的新的工艺方法。由于这一方法具有生产效率高、熔覆层均匀以及与基体之间具有良好冶金结合等优点, 近年来在工业中正得到日益广泛的应用。本文的研究工作是用激光熔覆方法在 316L 不锈钢表面获得厚度为 10~100 μ m 的纯铜薄层。从而将大大提高了这类耐热不锈钢的电磁性能和表面的导热性能, 这种新的复合材料在航天航空工业中具有十分重要的应用。本文分析和讨论了激光熔覆工艺参数和激光功率、熔覆速度、离焦量以及送粉率等对熔覆层质量的影响, 提出了获得低稀释率超薄铜层的实施方法。

1 试验装置和条件

用于激光熔覆的试验装置如图 1 所示。激光设备为 2500RF 2.5kW CO₂ 连续激光器, 配有飞行光路的二维数控工作台。激光炬用氩气保护, 气体流量为 5L/min。用 PZ Twin-10c 气相送粉器送粉, 送粉氩气流量设为 4L/min, 压力为 1.5×10^5 Pa。根据使用要求, 铜熔覆层厚度须控制在 10~100 μ m, 所用铜粉的牌号为 AMDRY3269, 99.5% Cu, 粒度为 90+45 μ m; 基体材料为 AISI316L 不锈钢, 厚度为 2.5mm。

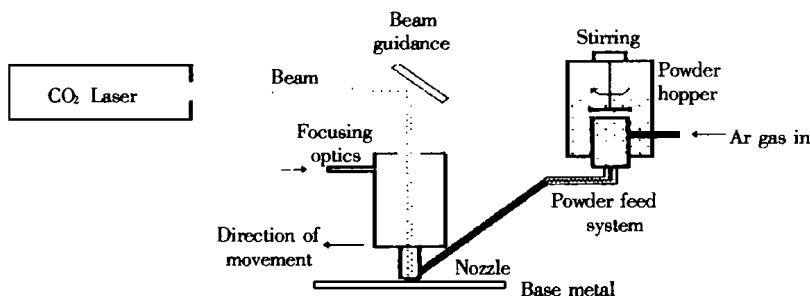


图 1 采用气相送粉的激光熔覆装置原理图

Fig. 1 Arrangements for laser cladding using blown powder

* 本研究是原欧共体 STRIDE 项目, 合同号 STRDC/C/CA/1016/93。

为选择和优化熔覆工艺,对激光功率、离焦量、熔覆速度以及送粉率等 4 个参数在一定范围内进行调整,激光功率的变化范围为 2.0~2.5kW;离焦量为-30~-45mm;熔覆速度选择在 250mm/min 以上;送粉率根据熔覆速度的变化在 1.8%~6.0%RPM 之间调整。

用金相显微镜对熔覆层的横截面进行几何尺寸和形状的观测。用定量金相分析和显微硬度方法评定熔覆层的稀释率。根据实际要求,当稀释率小于 10%时,则认为是低稀释率的熔覆层;否则为高稀释率熔覆层。图 2 是熔覆层的横截面的形貌;从图示的显微硬度压痕可判断不锈钢基体和铜熔覆层的不同硬度。所观察的熔覆层与基体熔合良好,未发现疏松和夹渣现象存在。同时,用显微硬度方法可作出进一步的评定。表 1 给出了不同稀释率的熔覆层及基体的显微硬度值的范围。

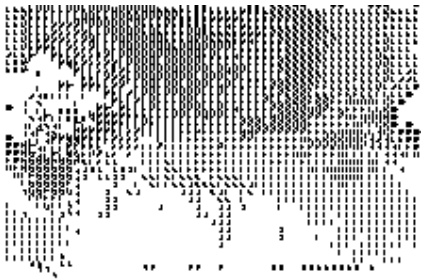


图 2 熔覆层的横截面形貌
Fig.2 Macro structure of section of cladding sample

表 1 不同稀释率的熔覆层及基体的显微硬度值(HV)的范围
Table 1 Relationship between dilution and microhardness(HV25gf)

Dilution(%)	Lower than 10%	Higher than 10%	Base metal
Microhardness(HV)	60~80	90~120	200~220

2 试验结果及分析

2.1 试验结果

表 1 和表 2 分别列出了离焦量为-30mm 和-35mm 时,其它参数的变化情况和对熔覆层的观测结果,反映了在试验条件下参数对熔覆层质量影响的一些规律。当离焦量进一步增加到-40 或-45mm 时,虽然熔覆层宽度有所增加,但由于热输入密度的降低而不得不使熔覆速度减慢造成基体的热传导作用增强,这样不仅造成熔覆层的稀释率变大,而且导致工件的热变形增大;而当采用过小的离焦量时(在本试验条件下离焦量小于 30mm 时),则由于热输入密度过大,熔覆层宽度过窄,亦难以得到低的稀释率。

表 2 离焦量为-30mm 时熔覆层的情况
Table 2 Results of cladding sample (defocusing distance=-30mm)

Sample No.	Laser power /kW	Speed /mm·min ⁻¹	Powder (%RPM)	Layer width /mm	Thickness /μm	Dilution
1~1	2.0	350	2	2.63	100	High
1~2	2.0	400	2	2.38	49	Low
1~3	2.18	420	2	2.38	53	Low
1~4	2.18	460	2	2.05	31	High
1~5	2.4	500	2	2.32	30	Low
1~6	2.5	650	3	2.25	60	High
1~7	2.5	700	3	2.13	40	Low
1~8	2.5	750	3	2.0	50	High

表 3 离焦量为-35mm 时熔覆层的情况

Table 3 Results of cladding samples (defocusing distance=-35mm)

Sample No.	Laser power /kW	Speed /mm·min ⁻¹	Powder (%RPM)	Layer width /mm	Thickness /μm	Dilution
2~1	2.0	250	2	3.38	157	high
2~2	2.0	300	2	2.5	62	low
2~3	2.0	350	2	2.4	44	high
2~4	2.18	360	2	2.2	58	low
2~5	2.4	380	2	2.38	35	low
2~6	2.5	530	2	2.38	23	low
2~7	2.5	540	2	2.35	20	low
2~8	2.5	530	3	2.38	50	low

从以上的试验结果可以看出, 为了得到厚度为 10~100μm、低稀释率的合格熔覆层, 在各个工艺参数的配合上具有很强的耦合关系。当激光功率和离焦量选定且保护气体流量和基体的条件保持不变时, 对熔覆层几何尺寸和质量影响较大的是熔覆速度和送粉率, 同时也是优化熔覆工艺的主要因素。

2.2 对熔覆层质量影响的讨论

2.2.1 熔覆速度和送粉率的影响

图 3 和 4 分别表示了熔覆速度对熔覆层的宽度和厚度产生的影响。在试验中注意到, 较低的熔覆速度对基体的热输入过大, 易形成高稀释率的熔覆层; 而较快的熔覆速度对控制热量传递和减小热变形都是有利的。但是, 当熔覆速度增加时送粉量亦必须相应增长。然而, 为了获得低稀释率的熔覆层, 熔覆速度和送粉率不得被限定在一个较小的调整范围内。这是因为送粉率的增加一方面会使熔覆层厚度增加, 另一方面则会使工件表面对激光能量的吸收率显著提高, 从而导致高稀释率的熔覆层。因此, 尽管熔覆速度的提高有利于减少对基体的热输入, 同时也对获得低稀释率的熔覆层有利, 但到达一定限度之后, 由于不得不增加送粉率, 反而易造成熔覆层的稀释率变高。相应地可以观察到两种典型的熔覆层截面的形貌(图 5)。一种是“表面熔覆”型, 其具有低稀释率的特点; 另一种是“深熔覆”型, 往往出现在高熔覆速度和高送粉率的条件下且具有高稀释率的特点。这一现象亦说明了单纯地靠提高熔覆速度并不能获得最小的热输入和降低稀释率, 其它工艺参数对激光能量的有效吸收的影响是不容忽视的。

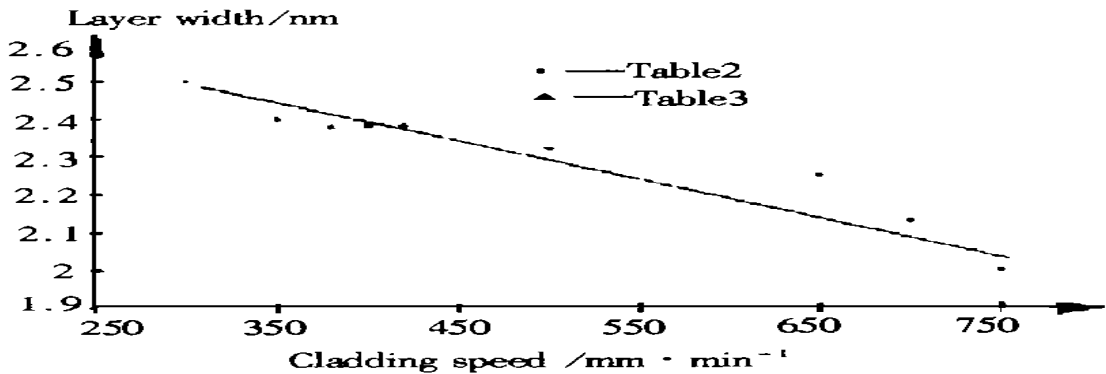


图 3 熔覆速度与熔覆层宽度的关系

Fig. 3 Cladding speed vs. layer width

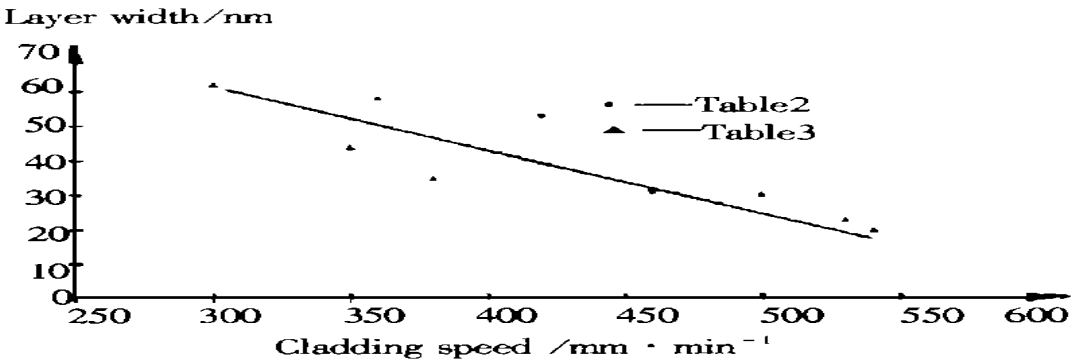


图 4 熔覆速度与熔覆层厚度的关系

Fig. 4 Cladding speed vs. layer thickness

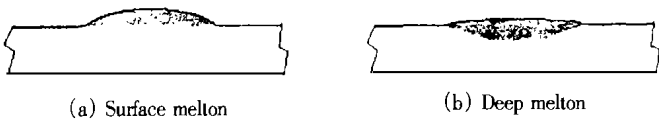


图 5 两种典型的熔覆层截面的形貌

Fig. 5 Two typical profiles of cladding section

另外, 熔覆速度对熔覆层稀释率的影响相当敏感, 当其它参数不变时, 速度变化仅降低 10%, 就会导致稀释率的明显提高。因此, 在本试验条件下所推荐的工艺参数列于表 4。

表 4 推荐的激光熔覆工艺参数

Table 4 Recommended parameters for laser cladding

Laser power / kW	Defocusing distnce/ mm	Cladding speed/ mm · min ⁻¹	Powder flow rate(% rpm)
2.5	30	700	3 ~ 4

2.2.2 多道熔覆

由于受激光光斑直径的局限, 激光熔覆的宽度较窄(仅 2 ~ 3mm)。当要求得到较大面积的熔覆层时, 就要采用多道熔覆的方法。在工艺上, 由于道与道之间采用搭接方式, 与单道熔覆的不同之处是需要注意到前一道熔覆层对基体表面状态的影响, 以及与原熔覆层搭接处的重熔问题。试验中注意到在搭接处易出现疏松、稀释率增高等问题。图 6 给出了改善多道熔覆时搭接处质量的一种方法。其目的是保证较为一致的表面条件, 在第二步熔覆时, 熔覆速度可适当提高。

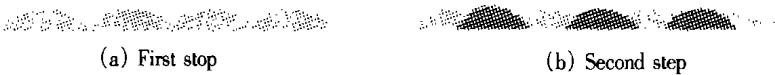


图 6 改善多道熔覆搭接处质量的一种方法

Fig. 6 A way to improve quality of multi-pass cladding layer

3 结 论

(1)通过正确选择激光熔覆工艺,可以获得稀释率低、厚度满足应用要求的熔覆层。在本试验条件下,铜层的熔覆厚度可控制在 $100\mu\text{m}$ 之内,稀释率可控制在 10%以内。

(2)用金相分析和显微硬度测量可以有效地评定熔覆层的质量及其稀释率。

(3)工艺试验表明,激光熔覆速度和送粉率是影响熔覆层稀释率的两个重要因素。在多道搭接熔覆时,需要考虑前道熔覆层对表面状态的影响。

致谢:

研究工作得到葡萄牙 ISQ 科技集团的支持。

(1997-07-07 收到初稿, 1997-11-08 收到修改稿)

参 考 文 献

- 1 Belforte D A. Laser cladding: the time is coming. *Industrial Laser Review*, 1994, 9(3): 16 ~ 17
- 2 Mordlike B L. Surface hardening of structural parts, proceedings of the LANE1994, 9(3): 227 ~ 241
- 3 Weerasinghe V M. et al. Laser cladding with pneumatic power delivery, International course on applied laser tooling, 1985, 2, Spain
- 4 Schubert E. et al. Modification of metallic surfaces by means of excimer lasers; Fundamentals and applications. *Laser in Engineering* 1993, (2): 111 ~ 155

Laser Cladding of Thin Copper Layer on Stainless Steel

Song Yonglun

(South China University of Technology, China)

J F Oliveira Santos

(Instituto de Soldadura e Qualidade, Portugal)

Abstract An investigation is underway to assess thin copper cladding on substrate of 316L stainless steel by CW CO₂ laser. This preliminary work analyses some special features of the cladding process, provides a basic information about the relationship between the parameters of cladding processing and the quality of cladding layer. The influences of cladding condition, such as laser power, beam travelling speed, defocusing distance as well as power flow rate, on copper layer are also discussed in this paper. The main achievement of this investigation is the fact that a thin copper layer can be obtained on the substrate, with thickness smaller than $100\mu\text{m}$, dilution lower than 10% and few thermal distortion.

Key words laser cladding, copper layer, stainless steel