

文章编号: 1001-3806(2005)06-0667-03

激光模式对激光熔覆层质量的影响

李 胜, 胡乾午, 曾晓雁*

(华中科技大学 激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

摘要: 分别采用多模和低阶模的 CO₂ 激光束研究了激光模式对于 Fe 基金属激光熔覆层质量的影响。结果表明, 相对于低阶模激光熔覆而言, 多模激光熔覆层各个区域的外形较为平整, 尤其是熔合区更为明显, 激光模式不同对熔覆层的微观组织和硬度也有一定影响。

关键词: 激光熔覆; 激光模式; 几何形貌; 微观组织; 硬度

中图分类号: TG665 **文献标识码:** A

Effect of laser mode on the quality of laser cladding layers

LI Sheng, HU Qian-wu, ZENG Xiao-yan

(National Laboratory of Laser Technology, HUST, Wuhan 430074, China)

Abstract: The effects of laser mode on the quality of Fe-based alloy laser cladding layers are studied using a multimode CO₂ laser and a low order mode CO₂ laser respectively. Results show that the appearances of different zones of the multimode laser cladding layers are flatter than those of the low order mode laser cladding layers, especially in the melted zone. The difference of the laser mode also influences the microstructure and the hardness of the cladding layers to some extent.

Key words: laser cladding; laser mode; geometrical morphology; microstructure; hardness

引 言

与传统的表面处理技术, 如堆焊、喷镀等相比, 激光熔覆技术具有如下一些优点: 熔覆层与基体为牢固的冶金结合; 属于快速凝固过程, 容易得到细晶组织或产生平衡态所无法得到的新相; 可以获得低稀释率的良好覆层; 热变形和热影响区小; 自动化程度高等。正因为如此, 激光熔覆技术获得了国内外的普遍重视。

近几年来, 随着激光熔覆技术的日趋成熟, 大功率激光器的价格不断下降, 性能日益提高, 品种不断增多, 激光熔覆技术在生产实际中获得了越来越广泛的应用。激光器品种的不断增多也自然带来了一个问题, 这就是不同种类的激光模式对激光熔覆层质量究竟会有怎样的影响。在激光熔覆过程中, 由于不同模式的激光束在空间中有不同的强度分布, 即使功率和离焦量等参数相同, 不同模式的光束在材料中产生的温度场也可能有较大差别, 影响熔覆质量。目前, 有关激光模式对激光熔覆层质量影响的研究较少。激光熔覆层的质量主要是指其宏微观质量, 包括宏观形貌, 尺寸参数和显微组织结构等, 作者利用金相检测法, 研究

了激光模式对激光熔覆层的影响, 得到了有意义的结论。希望研究的成果对激光熔覆技术的推广应用能起到一定的作用。

1 试验材料及方法

激光熔覆实验采用华中科技大学激光院制造的 HGL-5000 型连续横流 CO₂ 激光器 (多模) 和德国 Ro-fin 公司制造的 ROFN TR050 型快轴流 CO₂ 激光器 (TEM₁₀)。各激光器额定输出功率均为 5kW, 激光光束波长为 10.6μm, 实际实验过程中激光功率 P 分别为 3.0kW 和 4.0kW, 采用烧蚀法测量光斑直径, 通过调整离焦量, 使实验过程中光斑直径 D 分别为 4mm 和 6mm, 激光扫描速率 v_s 均为 3mm/s。采用同步送粉法, 送粉速率均为 13.7g/min, 各熔覆层均为单道单层。使用 Ar 作为保护气体, 主要用于防止合金粉末在熔覆过程中发生氧化, Ar 气流量为 3.6L/min。实验用粉为 150 目 ~ 200 目的自制 Fe-Ni-Cr-B-Si-C 合金粉末, 其质量分数分别为 92.7%, 3%, 2%, 1%, 1% 和 0.3%。基材均为 $\varnothing 50\text{mm} \times 10\text{mm}$ 圆片状 45# 钢。

采用金相检测法观察和测量熔覆层各个区域的宏观形貌和几何尺寸, 并观察显微组织, 使用 Vickers-1000 型数字显微硬度计测量熔覆层的显微硬度, 保压时间为 15s。

2 试验结果

作者简介: 李 胜 (1973-), 男, 博士研究生, 主要从事激光表面强化与改性方面的研究。

* 通讯联系人。E-mail: xyzeng@public.wh.hb.cn

收稿日期: 2004-08-25; 收到修改稿日期: 2004-10-19

2.1 激光模式、激光功率和光斑直径对熔覆层几何形貌的影响

光学金相组织观察结果表明,激光熔覆层的组织大体可分为:熔覆层区,熔合区和热影响区。激光模式对激光熔覆层几何形貌有着明显的影响,图1显示了

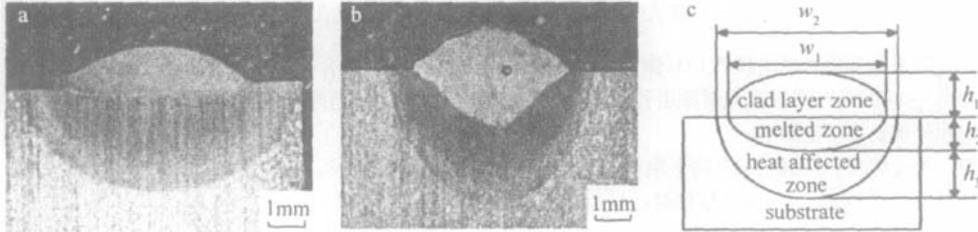


Fig 1 The geometrical morphology of the layers

a—effect of multimode laser on the layer b—effect of low order mode laser on the layer c—illustration of the layers

Table 1 Effect of laser mode, laser power and the diameter of the laser beam on the geometrical dimensions of the different zones of the cladding layers

	M ($P=4\text{kW}$)	L ($P=4\text{kW}$)	M ($P=3\text{kW}$)	L ($P=3\text{kW}$)	D/mm
h_1/mm	1.62	1.71	1.80	1.52	6
	1.61	1.44	1.68	1.47	4
h_2/mm	0.11	0.70	0.06	0.25	6
	0.21	0.60	0.11	0.50	4
h_3/mm	2.11	2.61	1.88	2.01	6
	2.02	2.81	1.51	2.23	4
w_1/mm	5.3	4.4	5.0	4.1	6
	3.9	3.1	3.2	3.0	4
w_2/mm	6.6	6.3	6.4	5.1	6
	6.5	4.2	5.2	4.0	4

note: M—multimode laser; L—low order mode laser; h_1 —the height of the clad layer zone; h_2 —the depth of the melted zone; h_3 —the depth of the heat affected zone; w_1 —the width of the clad layer zone; w_2 —the width of the heat affected zone

由图1和表1可知,在相同的激光功率、光斑直径、送粉率和扫描速度下,激光模式的变化对熔覆层各个区域几何形状有着重要的影响。相对于人们熟悉的多模激光熔覆而言,低阶模激光熔覆对熔覆层几何形状起着明显的“锐化”作用,即低阶模激光熔覆的熔覆层区,熔合区和热影响区的宽度相对于多模激光熔覆而言有所缩小,而熔合区和热影响区的深度均有不同程度的明显增加,导致低阶模激光熔覆层外形相对于多模激光熔覆层外形而言明显尖锐得多。激光模式,光斑直径和激光功率对熔覆层区的高度 h_1 也有一定影响,随着激光模式由多模转向低阶模,或是随着光斑直径的减小,或是随着激光功率的增加,在大多数情况下熔覆层区的高度略有下降,这是因为这种转变会使熔池中间部位的功率密度有所增加,而功率密度的增加会使合金熔液在熔覆过程中表面张力值下降,更多向下流淌,因而降低了熔覆层区的高度,在少数情况下熔覆层的高度略有增加或不变,这是因为目前送粉嘴的位置主要靠操作者人工控制,送粉嘴与激光相对位置的变动会引起实际粉末利用率的变化,即使功率密

在相同激光功率(4kW)、光斑直径(6mm)、送粉率(13.7g/min)和扫描速度(3mm/s)的情况下,多模激光熔覆层(见图1a)和低阶模激光熔覆层(见图1b)的几何形状。表1显示了激光模式、激光功率和光斑直径对熔覆层区、熔合区和热影响区几何尺寸的影响。

度有所增加,而如果此次实验过程中送粉嘴的位置调整得非常准确,导致实际粉末利用率也有增加,熔覆层的高度则可能增加,或不变。

激光模式对熔覆层几何形貌的影响可以借助光束的空间强度分布来理解。在激光热处理过程中,光斑直径 D 之内所占的功率应为总功率的90%左右^[1],低阶模激光束和多模激光束在光斑直径 D 内的强度分布有很大不同(见图2),导致低阶模激光束和多模激

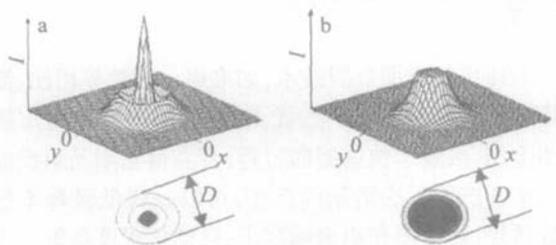


Fig 2 The spatial intensity distribution of the laser beam

a—low order mode laser b—multimode laser

光束在光斑直径内的功率密度分布有很大不同。低阶模激光束中心部位功率密度远高于光束边缘功率密度,而多模激光束中心部位功率密度则仅稍高于光束边缘功率密度,故低阶模激光熔覆层熔合区深度远大于多模激光熔覆层熔合区深度;由于并非光束的直接照射,而是热传导的缘故,两种激光模式的熔覆层热影响区深度差别相对于熔合区深度差别来说略小;至于熔覆层区宽度,它主要取决于光斑直径,尽管从表面上测量到的两种激光模式的光斑直径一样,但因多模激光束边缘功率密度高于低阶模激光束,边缘部位的粉末利用率较高,能够熔覆成形,而低阶模激光束边缘功率密度低,粉末很可能未熔化而不能形成熔覆层,故低阶模激光熔覆层区宽度略小于多模激光熔覆层区宽度。

2.2 激光模式对熔覆层区微观组织的影响

熔覆层区熔池不同位置凝固条件不同,最终所形成的组织结构不同。温度梯度/凝固速度 (G/v) 是凝固组织生长形态选择的控制参数(形状控制因

子)^[2~4]。熔池/基材界面处 $v \rightarrow 0$ 而 G 最大, G/v 值很大, 凝固组织以低速平面生长; 随 v 的增大和 G/v 逐渐减小, 形成胞枝转变区; 随 v 的进一步增加, 同时由于熔池表面散热, 熔覆层区顶部形成细小等轴晶。总之, 熔覆层区组织基本上是平面晶(过渡区)、胞状枝状混合晶(熔覆层区中部)、细小等轴晶(熔覆层区顶部)的结构。图 3 和图 4 显示了在激光功率为 3kW、

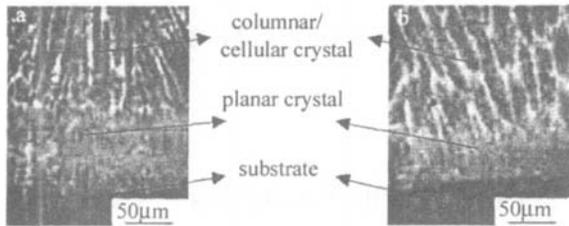


Fig 3 Effect of laser mode on the microstructure of the bottom and the middle of the clad layer zone a—multimode laser b—low order mode laser

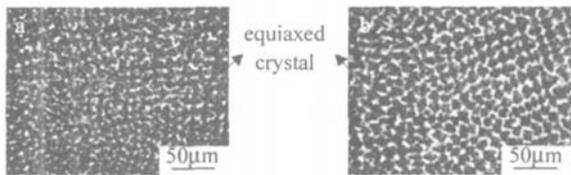


Fig 4 Effect of laser mode on the microstructure of the top of the clad layer zone a—multimode laser b—low order mode laser

光斑直径为 6mm 的工艺条件下多模激光熔覆层和低阶模激光熔覆层垂直激光扫描方向的截面上中心部位的微观组织变化, 熔覆层区主要由白色先共析铁素体 ($390HV_{0.1}$) 和黄色马氏体组成。由图 3 和图 4 可知, 无论是多模激光熔覆层区, 还是低阶模激光熔覆层区都遵循着上述规律, 大体有着相同的微观组织变化过程, 但两者也存在一些细小差别, 相对而言, 多模激光熔覆层区中心部位的晶粒更为细小, 而且先共析铁素体的析出量较少, 这是由于多模激光熔覆层区中心部位功率密度相对较低, 合金熔液凝固速度较快, 沿原奥氏体晶界析出的铁素体未能完整析出, 晶粒也相对较小。另外, 由图 1 和实际光镜观察可知, 低阶模激光熔覆层内部相对来说有更高的气孔率, 这是由于低阶模激光熔覆层熔合区深度远大于多模激光熔覆层熔合区深度, 熔池内熔液流动也更为复杂, 反应生成的气体较难完全排出。

2.3 激光模式对熔覆层区硬度分布的影响

在熔覆层区和熔合区界面处, 由于冷却速率 R 较小^[2~4], 晶粒较熔覆层区内部粗大, 加上高温下镍和铬等合金元素对基体的扩散和稀释, 使得界面附近熔覆层区硬度较低。随着距界面距离的增加, 组织逐渐细小, 同时合金元素含量逐渐增加, 使得熔覆层区显微硬度上升。在距界面一定位置处, 虽然熔覆层区成分趋于稳定, 但组织细化使得熔覆层区硬度继续增大, 并最终在熔覆层区中上部达到最大值。熔覆层区最表层硬

度较中上部硬度稍有下降, 这是因为在激光熔覆过程中, 激光束作用时熔池中的对流传质作用, 能充分搅拌熔池, 使熔池中硬度较低的非金属夹杂物和一些非金属元素如磷等上浮析出至熔覆层区表层。图 5 也是在

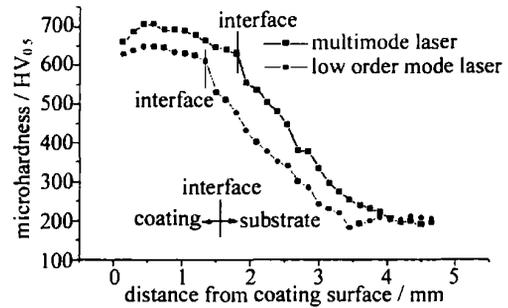


Fig 5 Effect of laser mode on microhardness profile

激光功率为 3kW, 光斑直径为 6mm 的工艺条件下多模激光熔覆层区和低阶模激光熔覆层区中心部位的硬度分布曲线。由图 5 可知, 无论采用怎样的激光模式, 熔覆层区的硬度分布均遵循上述规律, 但激光模式对熔覆层区硬度分布也有一定程度的影响, 一般来说, 在相同位置处, 多模激光熔覆层区硬度高于低阶模激光熔覆层区硬度, 这是由于多模激光熔覆层中心部位功率密度相对较低, 合金熔液过热度较小, 凝固速度较快, 晶粒较小, 硬度相对较高。

3 结 论

(1) 在其它工艺条件相同的情况下, 相对于多模激光熔覆而言, 低阶模激光熔覆熔合区的深度显著增加, 热影响区的深度也有一定程度增加, 熔覆层区的宽度则略有减少, 激光模式对熔覆层区高度的影响不很明显; 激光功率和光斑直径对激光熔覆层各个区域的几何形貌也有程度不同的影响。(2) 无论采用怎样的激光模式, 熔覆层区的组织从结合界面到表层均遵循着“平面晶—胞枝状混合晶—等轴晶”的转变规律, 但低阶模熔覆层区中心部位的组织较粗大, 先共析铁素体的析出量也较多。(3) 无论采用怎样的激光模式, 熔覆层区的硬度分布从结合界面到表层均遵循着“逐渐增加, 最后略有减少”的规律, 但在距离基材同一位置, 低阶模熔覆层区中心部位的显微硬度相对较低。

参 考 文 献

- [1] 王伟平, 吕百达, 罗时荣. 激光束光强分布对材料激光加热的影响 [J]. 强激光与粒子束, 2001, 13(3): 313~316
- [2] 王忠柯, 郑启光, 王 涛 *et al* 激光表面熔覆层凝固组织特征形成过程 [J]. 激光技术, 2000, 24(1): 64~66
- [3] LIM X, HE Y Zh, SUN G X. Laser cladding Co-based alloy/SiCp composite coatings on IF steel [J]. Materials and Design, 2004, 25(4): 355~358
- [4] H DOUCIA, PELLETIER J M, DUCON F *et al* Microstructural and mechanical characteristics of laser coatings [J]. Surface and Coatings Technology, 2000, 123(1): 17~23