

文章编号: 1001-3806(2010)06-0832-03

熔覆产生的蓝紫光与熔覆表面质量关系的研究

马保亮, 洪蕾*

(上海海事大学 物流工程学院, 上海 200135)

摘要: 为了揭示熔覆时产生的蓝紫光信号与熔覆表面质量的关系, 采用 UV-420 对熔覆产生的蓝紫光信号强度进行实时检测, 取得了不同扫描速率与激光功率条件下, 蓝紫光信号的强度值。经实验研究与理论分析可得, 蓝紫光强度相对稳定在 $1.7\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 2.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 时, 熔覆表面质量相对比较好; 同时证明了熔覆时的等离子体主要来源于熔覆粉末的气化击穿。结果表明, 蓝紫光信号强度的大小, 在一定程度上能够反映熔覆表面质量的好坏, 且能够为熔覆的闭环反馈控制提供具有参考价值的相关参量。

关键词: 激光技术; 蓝紫光强度; 等离子体; 熔覆表面质量

中图分类号: TN249; TG156.99

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.06.030

Effect of blue-violet light on quality of cladding surfaces

MA Bao-liang, HONG Lei

(Logistics Engineering College, Shanghai Maritime University, Shanghai 200135, China)

Abstract: In order to reveal the relationship between blue-violet light signal and the surface quality in cladding process, the blue-violet light signal intensity was measured in real time with a UV-420 device. The blue-violet intensity was obtained at different scanning speeds and laser power. Experimental and analytical results show that the surface quality is good when blue-violet intensity is relatively stabled at $1.7\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 2.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$. And the plasma is mainly caused by the breakdown of powder's vaporization. The blue-violet intensity can reflect the surface quality, and it can also provide parameters for closed-loop feedback control.

Key words: laser technique; blue-violet light intensity; plasma; quality of laser cladding surface

引言

激光熔覆过程中影响加工质量的因素非常多, 且确定工艺参量复杂麻烦, 使得加工工件出现表面质量不高、微观组织、性能不均匀、成分偏析以及残余应力明显等缺陷, 解决的方法是准确地确定影响因素信息参量, 而在这些信息当中, 许多因素是相互矛盾的, 如预热与硬度、激光扫描速率与激光功率、光束直径与激光功率以及稀释率与速率和功率之间均存在着相互影响相互制约的矛盾关系, 只有充分认识了激光熔覆过程中多源复杂耦合信息的作用规律和决策机制以及确立加工质量、影响信息和加工控制参量之间的关系, 才

能从实质上保证激光熔覆加工质量和熔覆加工过程的稳定性、一致性。对提高激光熔覆质量, 推动激光熔覆的工业化应用具有重要的意义^[1-3]。

目前国内外学者对激光熔覆实时检测的研究, 大多集中在对激光熔覆过程产生的光、声、电、热等信号的检测, 并探索这些种信号与熔覆质量之间的关系。如 BI, ANDRES 等人通过实时检测熔池发出的红外辐射来研究熔覆质量^[4]。YU 等人使用 CCD 摄像进行实时检测^[5]; 西北工业大学的 CHEN 等人建立了近距离连续拍摄系统, 实现了对熔池行为的实时观察^[6]。激光焊接的研究发现, 在激光焊接质量较好时都有等离子体存在, 并且焊接时等离子体发出的蓝紫光波长范围为 $400\text{nm} \sim 440\text{nm}$ ^[7]。激光熔覆过程中激光与粉末的作用是个复杂过程, 同时也有等离子体存在。等离子体形成后伴随着很多特征, 如发出蓝紫色的光、噗噗的声音、工件与喷嘴之间形成电位差等。

激光熔覆目前实际应用的重大难题就在于熔覆质量的控制问题, 本文中借鉴激光焊接实时检测技术, 采用对等离子体发出的蓝紫光进行检测, 探索等离子体所发出的蓝紫光信号与熔覆表面质量之间的关系, 为

基金项目: 上海市自然科学基金资助项目 (09ZR1421300); 上海市曙光计划资助项目 (09SG47); 上海市教委科研创新重点资助项目 (10ZZ99); 上海市教委重点学科资助项目 (J50604)

作者简介: 马保亮 (1983-), 男, 硕士研究生, 现主要从事激光熔覆的研究。

* 通讯联系人。E-mail: juhonglei@yahoo.com

收稿日期: 2009-12-18; 收到修改稿日期: 2009-12-29

激光熔覆的闭环控制提供定性分析研究。

1 试验条件及方法

基体选用45#钢,尺寸为100mm×50mm×4mm。熔覆粉末选用镍60,熔覆层长度在数控程序中设定为60mm。送粉采用气动同轴送粉,气压设定为12Pa,转盘转速设定为18r/min,经实验测得送粉量 $G = 17.6\text{g}/\text{min}$ 。

蓝紫光强度测量设备选用UV-420,光谱响应曲线见图1,响应时间为1s。由于UV-420容易受到太阳

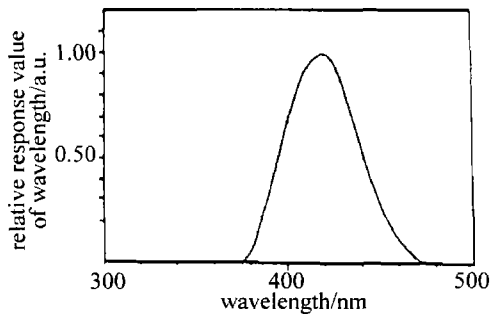


Fig. 1 Spectral response curve of UV-420 detector

光、日光灯等外界光源的影响,特别是太阳光。经实验测得白天UV-420的干扰值为 $0.4\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 0.7\mu\text{W}/\text{cm}^2$,晚上为 $0.1\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 0.2\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 。为了减小干扰,所以实验选择在晚上进行。

实验室的激光熔覆光斑为矩形光斑(也叫线形光斑,尺寸为 $1.5\text{mm} \times 6\text{mm}$)。故有一部分粉末送到激光光斑扫描方向的后面而扫描不到,这部分粉末只能靠热传递来融化,导致融化不充分,故实验采用来回(1次)扫描方式。

2 工艺试验

分析研究扫描速率分别为 $2\text{mm}/\text{s}$ 、 $5\text{mm}/\text{s}$ 、 $8\text{mm}/\text{s}$ 和 $12\text{mm}/\text{s}$,激光功率 $P = 2300\text{W}$,送粉率 $G = 0\text{g}/\text{min}$,即不送粉时,蓝紫光强度与扫描速率的关系。

讨论研究了激光功率为2300W时,扫描速率分别为 $2\text{mm}/\text{s}$ 、 $4\text{mm}/\text{s}$ 、 $5\text{mm}/\text{s}$ 、 $6\text{mm}/\text{s}$ 、 $8\text{mm}/\text{s}$ 、 $10\text{mm}/\text{s}$ 和 $12\text{mm}/\text{s}$ 时,以及扫描速率为 $4\text{mm}/\text{s}$ 时,激光功率分别为800W、1000W、1200W、1400W、1600W、1800W、2000W、2200W、2300W、2400W和2600W的情况下,蓝紫光强度与扫描速率,激光功率以及蓝紫光强度与熔覆表面质量之间的关系。

由于蓝紫光是由熔覆时产生的等离子体发出的,而等离子体本身具有振荡特性^[8],且熔覆过程涉及到激光与基体,激光与粉末,粉末和基体之间的相互作用等,以及同轴气动送粉的稳定性等,导致蓝紫光强度大小是变化的,只能获得相对稳定区间值。

表1为激光功率 $P = 2300\text{W}$ 、送粉率 $G = 0\text{g}/\text{min}$,即不送粉时,蓝紫光强度与扫描速率的关系。

Table 1 The relation between the blue-violet light intensity and scanning speed when $P = 2300\text{W}$, $G = 0\text{g}/\text{min}$

scanning speed/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	blue-violet light intensity/($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)		
	max	min	relatively stable value
2	0.3	0.2	0.2
5	0.2	0.2	0.2
8	0.2	0.2	0.2
12	0.2	0.2	0.2

表2为激光功率 $P = 2300\text{W}$ 、送粉率 $G = 17.6\text{g}/\text{min}$ 时,蓝紫光强度与扫描速率的关系。

Table 2 The relation between the blue-violet light intensity and scanning speed when $P = 2300\text{W}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$

scanning speed/($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$)	blue-violet light intensity/($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)		
	max	min	relatively stable value
2	1.9	0.8	1.0~1.3
4	3.0	0.3	1.7~2.2
5	3.8	0.7	1.8~2.2
6	5.9	0.9	2.3~2.6
8	9.6	2.8	3.0~4.2
10	16.5	5.6	6.0~7.0
12	18.4	7.9	unstable

表3为扫描速率 $v = 4\text{mm}/\text{s}$ 、送粉率 $G = 17.6\text{g}/\text{min}$ 时,蓝紫光强度与激光功率的关系。

Table 3 The relation between blue-violet light intensity and laser power when $v = 4\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$

laser power P/W	blue-violet light intensity/($\mu\text{W} \cdot \text{cm}^{-2}$)		
	max	min	relatively stable value
800	1.1	0.4	0.5~0.8
1000	1.4	0.3	0.8~1.2
1200	2.7	0.5	1.7~2.2
1400	2.7	0.3	1.7~2.2
1600	2.9	1.3	1.6~2.0
1800	2.9	0.4	1.9~2.3
2000	3.5	1.0	2.4~2.6
2200	2.8	0.3	1.8~2.2
2300	4.2	0.8	1.8~2.2
2400	3.5	0.7	1.9~2.5
2600	3.0	0.7	1.8~2.4

3 机理分析

从表1可以看出,在送粉率 $G = 0\text{g}/\text{min}$ 时,即相当于激光淬火^[9-10],此时,蓝紫光强度在不同的扫描速率下,基本上等于外界光源的干扰值。激光熔覆时,激光能量通过积分镜,大体均匀分布在光斑上,而且激光熔覆的光斑相比激光焊接的光斑要大得多,即熔覆时光斑的能量相比激光焊接要弱很多。熔覆光斑的能量不足以使基体表面迅速气化击穿形成有效的等离子体,从而蓝紫光强度大体等于外界干扰值。

光强和输入能量成正比,扫描速率越快,基体单位面积上接收的能量越小,光强应该减小。但是从表2可以看出,熔覆时蓝紫光的强度随扫描速率的增大而

增大,增大幅度较大,特别是最大值,明显增大。这是因为扫描速率的增大,激光光斑与基体作用时间变短,这使基体单位面积上接收的能量减小,同时也使单位面积上的粉末厚度变薄。基体单位面积上接收能量的变小,使基体上的熔池变浅,甚至形成不了熔池,这就不利于基体对激光光斑能量的吸收。而随着扫描速率的加快,激光光斑的能量并没有减小,基体对激光光斑能量的吸收减弱,使粉末成为光斑能量的主要吸收者,而单位面积上的粉末又变薄,这就反而使更多的粉末短时间内迅速气化,金属蒸气被激光击穿形成等离子体,导致蓝紫光增强。事实上随着扫描速率的增大,由于基体上熔池变浅,甚至形成不了熔池,红外辐射明显减小。在熔覆过程中伴随的光信号,红外辐射的强度要比蓝紫光强度强得多。红外辐射减小的绝对量要比蓝紫光增大的绝对量大得多,所以,红外辐射与蓝紫光等光信号合成光的总强度是减小的。

在送粉率 $G = 17.6\text{g}/\text{min}$ 、扫描速率 $v = 12\text{mm}/\text{s}$ 时,扫描速率非常快,激光和基体作用时间非常短,基体单位面积上接受的热量较小,熔池较浅且不稳定,形成的等离子体不稳定。导致蓝紫光强度出现了波动不稳定,熔覆表面质量非常差,见图2。在扫描速率 $v =$

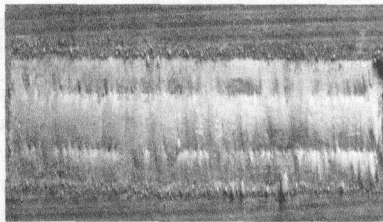


Fig. 2 Laser cladding sample, $P = 2300\text{W}$, $v = 12\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$
 $2\text{mm}/\text{s}$ 时,扫描速率较小,激光和基体作用的时间较长,基体单位面积上接收的热量较大,形成的熔池较深且稳定,这时主要产生红外辐射,形成的等离子体相对稳定,但等离子体相对较弱。蓝紫光强度相对较小,但相对稳定,熔覆表面质量相对较差,见图3。在扫描速

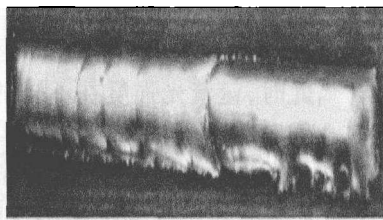


Fig. 3 Laser cladding sample, $P = 2300\text{W}$, $v = 2\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$
 率分别为 $4\text{mm}/\text{s}$ 和 $5\text{mm}/\text{s}$ 时,蓝紫光强度相对较稳定,熔覆层表面光滑且较平整,熔覆表面质量比较好,分别如图4和图5所示。

从表3可以看出,熔覆时蓝紫光的强度随功率的增大而增大,但增大幅度较小。在激光功率 $P = 800\text{W}$

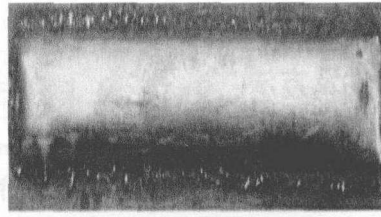


Fig. 4 Laser cladding sample, $P = 2300\text{W}$, $v = 4\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$

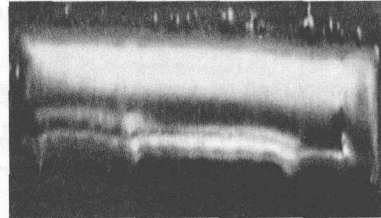


Fig. 5 Laser cladding sample, $P = 2300\text{W}$, $v = 5\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$

时,由于激光功率较小,不能在基体上有效地形成熔池,形成的等离子体较弱,蓝紫光强度较小,熔覆表面质量差,见图6。激光功率在 2200W , 2300W 和 2400W

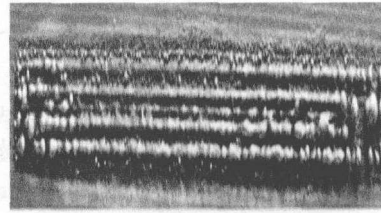


Fig. 6 Laser cladding sample, $P = 800\text{W}$, $v = 4\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$

时,激光功率大小比较适合,熔池深浅适中,形成的等离子体相对较稳定且强弱也适中,蓝紫光相对较大且相对稳定,熔覆层表面光滑且较平整,熔覆表面质量较好,如图7和图8所示。

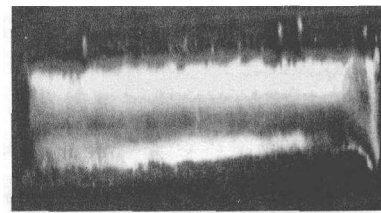


Fig. 7 Laser cladding sample, $P = 2200\text{W}$, $v = 4\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$

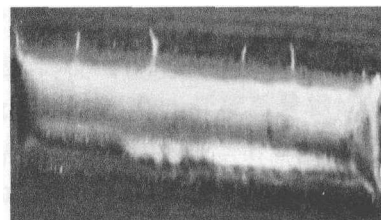


Fig. 8 Laser cladding sample, $P = 2400\text{W}$, $v = 4\text{mm}/\text{s}$, $G = 17.6\text{g}/\text{min}$

4 结论

蓝紫光强度受扫描速率的影响较大,受激光功率的影响相对较小;蓝紫光强度波动不稳定时,熔覆表面质量比较差。蓝紫光强度相对稳定,但是较小时,熔覆表面质量同样也比较差。蓝紫光相对稳定,稳定值

(下转第838页)

4 结论

在粒子场同轴数字全息 CCD 采集图像中出现了大面积的杂散光斑,严重影响了物场信息的记录。通过对杂散光斑产生及消失现象的实验观察和 CCD 输出电信号的理论分析,得出:CCD 像素上的灰尘受激光照射产生衍射条纹导致采集图像中出现中心灰度过饱和的小圆斑,随着灰尘及 CCD 对激光能量的吸收导致 CCD 复位电平失常,进而出现中心灰度过饱和的大面积杂散光斑及阴影,并产生热效应和记忆效应,使得激光辐照停止后 CCD 的图像采集功能失常,严重影响后续图像的正常采集。因此,在激光辐照 CCD 的图像采集实验中,要注重对 CCD 进行日常的维护,减少 CCD 对激光能量吸收的热累积,以避免杂散光斑的产生,降低 CCD 热效应和记忆效应对图像采集的影响。

参考文献

- [1] KREIS T, ADAMS M, JüPTNER W. Digital in-line holography in particle measurement[J]. SPIE,1999,3744:54-64.
- [2] PEDRINI G, GUSEV M, SCHEDIN S, *et al.* Pulsed digital holographic interferometry by using a flexible fiber endoscope [J]. Optics and Lasers in Engineering,2003,40(5/6):487-499.
- [3] LUO Zh X, LI Z R, LIU Zh Q, *et al.* Application of in-line digital holography to micro-jet particles measurement [J]. Explosion and Shock Waves,2007,27(3):278-282(in Chinese).
- [4] LI Z B, ZHENG G, ZHANG L X, *et al.* Influence of some parameters for particle diameter measurement using digital in-line holography [J]. Opto-electronic Engineering, 2008, 35(8):24-29(in Chinese).
- [5] WANG L, FENG S T, NIE S P, *et al.* Single exposure 3-D object digital holography based on multi-filtering technique[J]. Laser Technology,2007,31(4):354-357(in Chinese).
- [6] ZHOU J M, FU Y Y, GUO J, *et al.* Research on the soft damage of CCD induced by pulse laser[J]. Laser Journal,2005,26(2):20-21(in Chinese).
- [7] CAO Y L, GAO Ch Q. Analysis on the accuracy of beam parameter measurement by using CCD array[J]. Optical Technique,2004,30(5):583-586(in Chinese).
- [8] ZHANG Zh, CHENG X G, JIANG Z F. Excessive saturation effect of visible light CCD[J]. High Power Laser and Particle Beams,2008,20(6):917-920(in Chinese).
- [9] LIU Z J, LU Q S, JIANG Zh P, *et al.* Study of damage effect in CCD detectors irradiated locally by laser[J]. Laser Technology,1994,18(6):344-347(in Chinese).
- [10] LIU T H, ZHONG H R, LU Q S, *et al.* Study on mechanism of laser damage in photoelectric detectors[J]. Laser Journal,2001,22(6):5-8(in Chinese).
- [11] JIANG N, ZHANG Ch, NIU Y X. Numerical simulation of pulsed laser induced damage on CCD arrays[J]. Laser & Infrared,2008,38(10):1004-1007(in Chinese).

(上接第 834 页)

在 $1.7\mu\text{W}/\text{cm}^2 \sim 2.5\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 之间时,熔覆表面质量相对比较好,并且熔覆时等离子体主要来源于熔覆粉末的气化击穿;激光与基体作用时间太长或太短,即蓝紫光强度太小或太大,都得不到较好的表面熔覆质量。镍 60 在激光功率为 2000W ~ 2400W、扫描速率为 4mm/s ~ 5mm/s、送粉率为 17.6g/min 时,熔覆层表面光滑且较平整,熔覆表面质量相对较好。

参考文献

- [1] HONG L, WU G. Laser basic manufacturing technology [M]. Beijing: China Communications Press, 2007: 259-300(in Chinese).
- [2] ZHANG G Sh. Modern laser manufacturing technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press,2006:135-212(in Chinese).
- [3] LIU X B, WANG H M. The influence of processing parameters on laser cladding composite coatings on TiAl intermetallic alloy[J]. Laser Technology, 2006,30(1):67-69(in Chinese).
- [4] BI G J, ANDRES G, KONRAD W, *et al.* Identification and qualification of temperature signal for monitoring and control in laser cladding[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2006,44(12):1348-1359.
- [5] YU D, ZHONG M L, LIU W J, *et al.* Real-time monitoring research of melt pool images in laser cladding process[J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(s1):86-90(in Chinese).
- [6] CHEN J, TAN H, YANG H O, *et al.* Research on the molten pool behavior in the process of laser rapid forming through in situ observation technique[J]. Applied Laser, 2005, 25(2):77-80(in Chinese).
- [7] WANG Ch M. Multi-sensor real-time quality diagnosis and its theoretical basis for laser welding[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2005: 128-133(in Chinese).
- [8] LIU J H, ZHU Sh G. Image processing on high-speed photography of CO₂ laser welding plasma[J]. Applied Laser, 2002, 22(6):342-344(in Chinese).
- [9] MUKHERJEE S, CHAKRABORTY S, MANNA L. Effect of process parameters on laser surface hardening of plain carbon eutectoid steel [J]. Computers Materials & Continua, 2009,10(3):217-228.
- [10] ARIF A. Effect of input variability on the quality of laser shock processing[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2009, 23(10):2603-2611.