

Nd YAG 激光深熔焊接过程中同轴保护气流量对小孔的影响

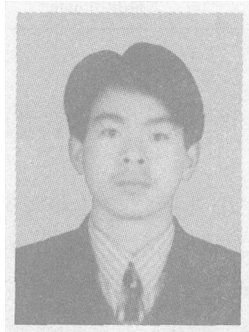
秦国梁, 林尚扬

(机械科学研究院 哈尔滨焊接研究所, 哈尔滨 150080)

摘 要: 通过对利用同轴视觉传感系统所采集的 Nd YAG 激光深熔焊接过程中小孔图像的处理研究了同轴保护气流量对激光深熔焊接过程中小孔的影响。研究表明, 同轴保护气流量的变化对小孔上部的影响较大, 而对小孔内部的影响很弱。而在较高气流量下, 小孔外边缘的径向尺寸随同轴保护气流量的增加而减小, 而小孔内边缘的径向尺寸变化很小。小孔内、外边缘中心到激光光斑中心的距离随着同轴保护气流量的增加而减小, 说明随着同轴保护气流量的增大小孔垂直轴线越来越靠近激光束轴线。

关键词: Nd YAG CW 激光; 深熔焊; 小孔; 同轴保护气; 流量

中图分类号: TG456.7 文献标识码: A 文章编号: 0253-360X(2005)03-33-04



秦国梁

0 序 言

小孔效应是激光深熔焊接模式的本质和标识, 是激光深熔焊接过程中焊缝形成的决定性因素, 是目前激光焊接研究的热点。

激光焊接过程中同轴保护气是沿激光束轴线吹出, 一方面用来保护熔池不受空气氧化, 另一方面用于保护光学元件不受焊接过程中飞溅和烟尘的污染。此外, 还有抑制激光焊接过程中出现的光致等离子体、散热等作用。因同轴保护气直接吹在小孔正上方, 而在焊接过程中将会对小孔造成一定的影响。

但是小孔仅仅存在于熔融的液态金属中, 随着熔融的熔池凝固形成焊缝, 小孔也随之消失, 很难直接对小孔的尺寸、形态进行测量。因此, 很难研究同轴保护气对小孔影响。在以往的研究中, 多为对焊接过程中保护气体种类对焊缝熔深影响的研究^[1,2]。

目前, 激光焊接过程同轴视觉传感技术是一种先进的激光焊接过程监测方法, 可以实现从熔池和小孔的正上方对焊接过程进行视觉监测, 从而达到判断熔透、跟踪焊缝以及监测小孔稳定性等目的^[3,4]。

文中通过处理由 Nd YAG 激光焊接过程同轴视觉传感系统所采集的小孔的同轴图像获得小孔特征参数研究了激光深熔焊接过程中保护气流量对小孔的影响。

1 试验设备及方法

试验用的激光器是额定功率为 2 kW 的 Nd YAG 固体激光器, 输出波长为 1.06 μm 的连续波激光。激光束由内径为 0.6 mm 的光纤传输, 经焦距为 200 mm 的透镜聚焦后的焦点直径为 0.6 mm。

试验采用 Nd YAG 激光平板堆焊, 为了获得完整的小孔以及减少其它因素对小孔的影响, 工件不焊透。在离焦量、激光功率和焊接速度不变以及在保证焊接过程中保护效果的前提下, 在焊接过程中采集在不同保护气流量下小孔的图像。图像采集采用自主开发的 Nd YAG 激光焊接过程同轴视觉传感系统, 系统组成框图如图 1 所示。试验条件如表 1 所示。

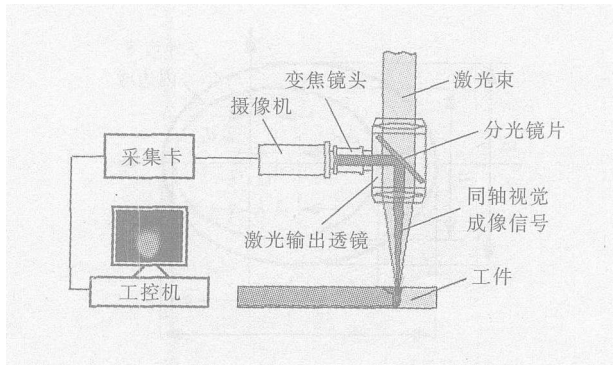


图 1 同轴视觉图像采集系统组成框图

Fig 1 Sketch map of experimental setup

表 1 试验条件
Tab 1 Experimental condition

参数	参数值
激光功率 Q /W	1100
焊接速度 v /(mm· s ⁻¹)	30
离焦量 Δz /mm	0
同轴保护气及其流量 U_f /(L· min ⁻¹)	A r 10~30
试验材料	Q235
工件尺寸 mm	300× 100× 2

2 小孔特征参数的定义及获取

2.1 小孔尺寸参数和形态参数的定义

在激光焊接过程中, 在 高 能 密 度 激 光 束 作 用 下 的 金属产生强烈蒸发而形成的小孔, 是一个底部细, 上部较粗且深入工件的锥形腔体。在实际焊接过程中小孔并不是竖直的, 而是在焊接方向上存在一定的倾斜, 即其轴线相对于激光束轴线不重合而是滞后一定距离且存在一定的夹角。这种倾斜是由于热滞后和液态金属运动滞后效应造成。从其正上方看下去, 小孔有内外两个边缘且两个边缘的中心不重合, 内边缘表明了小孔底部的径向尺寸和形状, 外边缘则说明了靠近工件表面的小孔上部的径向尺寸和形状。

图 2 为小孔特征参数的定义。建立以激光光斑中心 O 为坐标原点, 焊接方向为 x 轴, y 轴垂直于焊接方向的移动坐标系 Oxy 。在 Oxy 中, O_i 、 O_o 分别为小孔内外边缘的中心, 其坐标分别为 (x_i, y_i) 和 (x_o, y_o) 。则定义小孔内外边缘的长度 L_i 、 L_o 和宽度 B_i 、 B_o 为小孔的尺寸参数; 小孔内外边缘宽度与长度的比值——宽长比 a_i 、 a_o 小孔内外边缘中心 O_i 、 O_o 到激光光斑中心 O 的距离 Δd_i 、 Δd_o 以及内外边缘中心之间的距离 Δd_{oi} 为小孔形态参数。

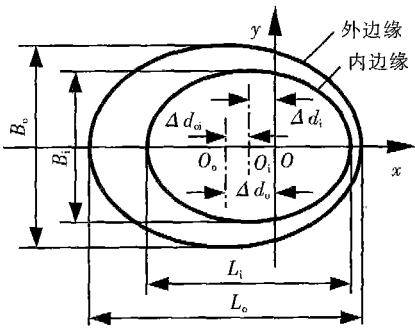


图 2 小孔特征参数的定义

Fig 2 Definition of keyhole characteristic parameters

a_i 、 a_o 描述了小孔的径向形状; Δd_i 、 Δd_o 表明了小孔内外边缘相对于激光光斑的滞后亦即小孔轴线与激光束轴线之间的距离; 而 Δd_o 则说明了小孔在深度方向上的倾斜程度, 这五个参数很好地说明了小孔在径向和深度方向上的形态。

2.2 小孔特征参数的获取

在提取小孔特征参数之前, 必须先对系统进行标定。文中在 x 和 y 方向上的标定系数分别为 0.008 142 06 mm /pixel 和 0.010 027 mm /pixel

经过图像处理提取出的小孔的内外边缘由一些离散的点组成, 为了能够更准确地提取出小孔的尺寸, 利用 Hough 变换对小孔边缘进行曲线拟合。图 3 为提取出的小孔的边缘及其拟合结果。根据所得的小孔的图像尺寸和图像采集系统尺寸标定结果可以得到小孔的实际尺寸。

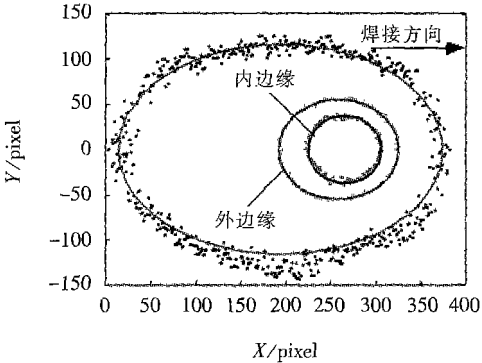


图 3 提取出的小孔内外边缘及其拟合结果
($Q=1\ 600$ W, $v=10$ mm /s $\Delta z=0$ mm)

Fig 3 Extracted inner and outer edges of keyhole and their fitted curves

Hough 变换可以用来拟合各种能以解析式表示的曲线和轮廓。根据所提取出的小孔边缘的特点, 假设小孔边缘关于焊接方向为轴对称, 并设小孔边缘曲线的非线性拟合函数在坐标系 Oxy 中的统一表达式为

$$y_k = \pm a_k (x_k - x_{fk})^{b_k} [L_k - (x_k - x_{fk})]^{c_k}, \quad (1)$$

式中: a_k 为小孔边缘的宽长比, $a_k > 0$ b_k 为曲线头部形状参数, $0 < b_k \leq 1$; c_k 为曲线尾部形状参数, $0 < c_k \leq 1$; 当 $b_k = c_k$ 时, 为椭圆, 当 $a_k = 1$ 且 $b_k = c_k$ 时, 为圆形; L_k 为长轴长度; x_{fk} 为小孔边缘尾部到坐标原点的距离; k 为区别小孔内外边缘的脚标。

通过对式 (1) 中 a_k 、 b_k 、 c_k 和 L_k 的拟合分别得到小孔内外边缘的长度、宽长比及其曲线方程, 并可从下式中求出小孔内外边缘的短轴长 B_k 为

$$B_k = a_k \cdot L_{ko} \quad (2)$$

由式 (1)中求得小孔边缘的中心 x 坐标 x_k

$$x_k=b_k \cdot L_k / (b_k+a_k)+x_{k0} \tag{3}$$

将式 (3)带入式 (1)可以求得小孔边缘中心的 y 坐标 y_k 。并可利用下式求出小孔内外边缘的中心距

$$\Delta d_k=\sqrt{x_k^2+y_k^2} \tag{4}$$

$$\Delta d_{oi}=\Delta d_o-\Delta d_{io} \tag{5}$$

3 同轴保护气流量对小孔的影响

同轴保护气流量对小孔的影响主要体现在对小孔尺寸和形态的影响。

3.1 小孔径向尺寸随同轴保护气流量的变化

图 4是所提取出小孔的内外边缘长度和宽度随同轴保护气流量的变化曲线。从图 4 看出,在较低同轴保护气流量下,小孔外边缘的尺寸变化很小;在较高同轴保护气流量下,小孔外边缘的尺寸随着同轴保护气流量的增加而减小。在同轴保护气流量变化过程中小孔内边缘的长度和宽度变化很小。这说明同轴保护气对小孔上部的影响较大,而对其内部影响很小。

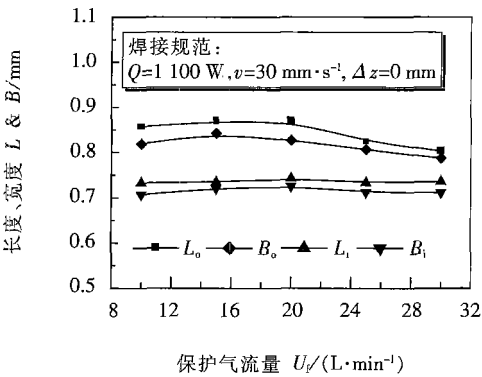


图 4 小孔边缘长度和宽度随同轴保护气流量的变化
Fig. 4 Variation of length and width of keyhole edges with flux of coaxial shielding gas

从小孔喷出来的高温金属蒸气和等离子体对焊缝金属具有一定的加热作用^[5,6],此加热作用的强弱将会导致小孔径向膨胀或收缩。而室温的同轴保护气直接吹在小孔正上方,与从小孔喷出的金属蒸气和等离子体相遇在小孔的出口处附近,对其具有较强的压制和冷却作用,阻止其向小孔外部喷出并使其温度降低。因此室温的同轴保护气和高温的金属蒸气和等离子体对小孔的影响主要体现在以下几点。

(1)高温金属蒸气和等离子体对小孔的加热作用的强弱可以使小孔径向膨胀或收缩。

(2)室温同轴保护气对金属蒸气和等离子体具

有冷却作用,并使其对小孔的加热作用减弱,这样可以使小孔径向收缩。

除此之外,同轴保护气对金属蒸气和等离子体的压制使孔内压力增大,而孔内压力的增大能够使小孔径向膨胀。

在同轴保护气流量较低时(小于 20 L/min),同轴保护气对金属蒸气和等离子体的冷却作用很弱,并且由于流量较低,同轴保护气对孔内的压力的影响较弱。因此,当同轴保护气流量较低时,随着流量的增加,小孔径向尺寸变化很小。在较大流量的情况下,随着同轴保护气流量的增加同轴保护气对高温金属蒸气和等离子体的冷却作用不断增强,金属蒸气和等离子体温度的降低使小孔外边缘尺寸减小。

由于同轴保护气对小孔的吹力同孔底材料的蒸发反冲作用力相比很小,因此同轴保护气流量的变化对孔内压力的变化影响也很弱。所以在同轴保护气流量变化过程中孔内压力的变化较小,其对小孔径向尺寸的影响也很弱。

由于同轴保护气和从小孔喷出的高温金属蒸气和等离子体交汇在小孔上方,因此同轴保护气的冷却作用对小孔中上部的影响较大,而对小孔内部的影响则很弱。所以同轴保护气流量的变化过程中,小孔内边缘的径向尺寸变化很小。总的来讲,处在外部的小孔外边缘受同轴保护气的影响较大,因而其变化幅度较大;而处于小孔内部的内边缘受保护气流量的影响较弱,其变化幅度也较小。

3.2 小孔形态随同轴保护气流量的变化

图 5是小孔内外边缘宽长比 a_o 、 a_i 随同轴保护气流量的变化趋势。对于小孔外边缘来说,在保护气流量变化过程中,其总的趋势为随着气流量的增大而增大;而小孔内边缘的宽长比在较大同轴保护气流量的条件下,随着同轴保护气流量的增大而减小。

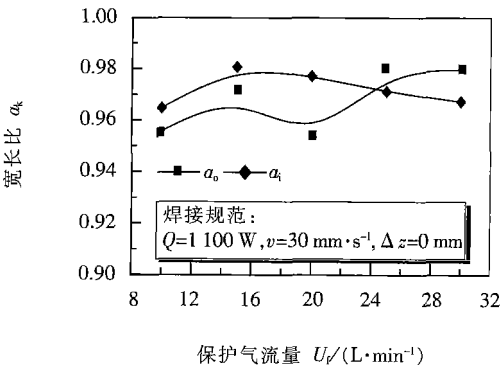


图 5 小孔边缘宽长比随同轴保护气流量的变化
Fig 5 Variation of width-to-depth ratios of keyhole edges with flux of coaxial shielding gas

图 6 是小孔内外边缘中心到激光斑中心之间的距离 Δd_i 、 Δd_o 及内外边缘中心之间的距离 Δd_{oi} 随同轴保护气流量的变化。从图 6 中可以看出, Δd 和 Δd_o 都随着同轴保护气流量的增加而减小, 说明随着同轴保护气流量的增加, 小孔内外边缘中心位置前移更靠近激光光斑中心。在气流量超过 15 L/min 时, Δd_{oi} 随着保护气流量的增加而减小, 说明在较大气流量下随着同轴保护气流量的增加小孔的倾斜程度减小, 但是小孔内外边缘中心距的变化相对很小。总的来讲, 小孔随着同轴保护气流量的增加, 其轴线从距离和角度上向竖直的激光束轴线靠近。

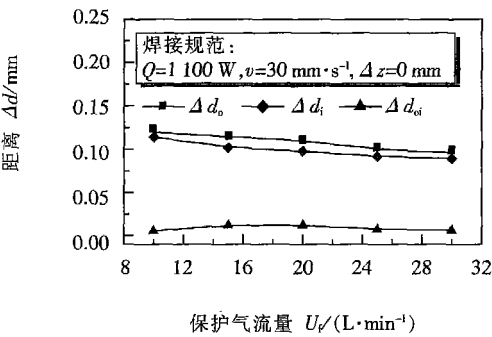


图 6 同轴保护气流量对小孔内外边缘及激光光斑之间中心距的影响
Fig 6 Influence of flux of shielding gas on distance among inner and outer edges of keyhole and laser spot

3.3 同轴保护气流量对小孔特征参数影响的评价
定义小孔特征参数的相对变化率 来描述小孔特征参数在同轴保护气流量变化过程中的变化程度

$$\delta = (X_{max} - X_{min}) / \bar{X}, \tag{6}$$

式中: X_{max} 、 X_{min} 和 $\bar{X}$ 分别为小孔特征参数的最大值、最小值和平均值。

表 2 为同轴保护气流量变化过程中小孔特征参数的相对变化率。

表 2 小孔特征参数的相对变化率 (%)

Table 2 Relative variation of keyhole characteristic parameters

参数	长度 L	宽度 B	宽长比 b_k	中心距 $\Delta d_{(o)}$
外边缘	7.8	6.8	3.0	21.7
内边缘	1.3	2.6	1.6	24.8

从表 2 中可以看出同轴保护气流量对小孔径向尺寸和形状的影响很弱, 而对中心距的影响相对强

一些。因此在研究其它焊接规范参数对小孔的影响时可以忽略同轴保护气流量变化的影响。从表 2 中还可以看出, 同轴保护气流量的变化对小孔外边缘的影响较大, 而对小孔内边缘的影响很弱。

4 结 论

- (1) 在较低气流量下, 小孔外边缘的尺寸随同轴保护气流量的增加变化较小; 而在较高气流量下小孔外边缘的尺寸随着同轴保护气流量的增大而减小。在同轴保护气流量变化过程中, 小孔内边缘尺寸变化很小。小孔内外边缘尺寸的相对变化率都很小。
- (2) 从总的变化趋势来看, 随着同轴保护气流量的增加, 小孔上部趋于圆形; 小孔内边缘的宽长比在较高流量时则随着同轴保护气流量的增大而减小。
- (3) 小孔内外边缘中心到激光光斑中心的距离随着同轴保护气流量的增加而减小, 说明小孔轴线越来越靠近激光束轴线。小孔内外边缘中心之间的距离在气流量超过 15 L/min 后也随着同轴保护气流量的增加而减小, 说明小孔的倾斜度减小, 小孔变直。
- (4) 同轴保护气流量对小孔形态大小的影响较弱。同轴保护气流量的变化对小孔上部的影响相对较强, 而对小孔内部的影响很弱。

参考文献:

- [1] Seaman F D. The role of shielding gas in high power CO₂ (CW) laser welding [C]. SME Technical Paper. 1997. 77-82.
- [2] 王家金. 激光加工技术 [M]. 北京: 中国计量出版社, 1992. 405-106.
- [3] Boeske L, Kreutz EW, Peterit J. Failure recognition and online processing control in laser beam welding [C]. Proc. LTWMP. 2003. 2003. 217-221.
- [4] Beersiek J. In process monitoring of laser beam welding [J]. Industrial Laser Solutions. 2003. 4. 15-16.
- [5] Dowden JM, Kapadia P, Postacioglu N. An analysis of the laser plasma of interaction in laser keyhole welding [J]. J Phys D: Appl Phys. 1989. 22. 741-749.
- [6] Akhter R, Davis M, Dowden J et al. A method for calculating the fused zone profile of laser keyhole welds [J]. J Phys D: Appl Phys. 1989. 22. 23-28.

作者简介: 秦国梁, 男, 1975 年 3 月出生, 工学博士, 主要研究方向为大功率激光加工及其过程监控技术。
Email: lasepro@sohu.com

Technology for Non-ferrous Materials Lanzhou University of Technology
Lanzhou 730050, China). p17–20 24

Abstract A two processing controlling digital inverter welding power system was designed based on digital signal processor (DSP) and micro control unit (MCU) and its multi functions were achieved. DSP (TM S320F240) was mainly used in sampling welding parameters and calculating control algorithm, whereas MCU (80C196KC) was used in implementing interfaces including keyboard, display and communication. Liquid crystal display is adopted for man-machine interaction. The key point of the design was the communication between DSP and MCU, therefore a dual port RAM (IDT7005) was adopted to ensure its reliability and rapidity. Complex programmable logic device was used to realize digital pulsed width modulation. The results indicate that fully digital controlling of multi-function welding machine was realized through DSP-MCU controlling system.

Key words pulsed width modulation, complex programmable logic device, digital signal processing, micro control unit, digital welding power

Laser TIG hybrid overlap welding process of AZ31B Mg alloy

CHIMing Sheng, LIU Li-ming, SONG Gang (State Key Laboratory of Material Surface Modification by Laser Ion and Electronic beams, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China). p21–24

Abstract Wrought magnesium alloy AZ31B was welded with laser TIG (tungsten inert gas) hybrid overlap welding process and the surface appearance of the bead, the influencing factors of the penetration and shear strength were discussed. The results show that the bead evidently presents “pin shape” when welded by laser TIG hybrid overlap welding. The top of bead is the typical shape when welded with TIG process, while the bottom of bead showed the typical shape of laser welding. It was a good way to weld magnesium alloy by using the laser TIG hybrid welding with advantages: high welding speed, aesthetic bead form, comparative wide welding parameters and high shear strength of joints.

Key words AZ31B magnesium alloy, hybrid overlap welding, shear strength, laser tungsten inert gas welding

Numerical model of heat input from rotational tool during friction stir welding

WANG Da-yong, FENG Ji-cai, WANG Pan-feng (National Key Laboratory of Advanced Welding Production Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China). p25–28 32

Abstract This paper has established the numerical models of the heat generation from the shoulder, the cylinder shape and the cone shape pins (including pin side face and end face) during friction stir welding. The effect of pin angle on the heat generation from the cone shape pin has been analyzed. The results confirm that the heat generation from the shoulder and the cone shape pin end face decreases, and the heat generation from the cone shape pin side face increases when pin angle increases. However, the general heat generation from the cone shape pin decreases firstly, then increases rapidly with pin angle increasing.

Key words friction stir welding, heat input, numerical model

Effect of trace Zr on microstructures and properties of welded joint of A15-8Cu-0.3Mn alloy

LI Hui-zhong, ZHANG Xin-ming, CHEN Ming-an, LIU Ying, ZHOU Zhuo-ping (School of Materials Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China). p29–32

Abstract A15-8Cu-0.3Mn alloy was welded using 4047 solder wire with metal inert gas welding. Mechanical properties and microstructures of the welded joints and base metals were studied by means of optical microscope, transmission electron microscope and microhardness. The experimental results show that the tensile strength of base metal can be improved by 30 MPa and the tensile strength of the welded joint can be improved by 50 MPa. At the same time, the microstructures of recrystallization of the welded zone are fined due to addition of 0.21% Zr. The tensile strength of the welded joint of A15-8Cu-0.3Mn alloy is lower than that of the base metal. In the welded joint, the weld bead is the weakest area and the soften zone in the heat affected zone is the second weakest, where the θ' phase particle became coarser.

Key words A15-8Cu-0.3Mn alloy, welded joint, microstructure, tensile strength, properties

Influence of coaxial shielding gas flux on keyhole in Nd:YAG CW laser deep penetration welding

QIN Guo-liang, LIN Shang-yang (Harbin Welding Institute, Harbin 150080, China). p33–36

Abstract The influence of coaxial shielding gas flux on keyhole was studied by processing the captured coaxial image of keyhole. The results show that the coaxial shielding gas has great influence on the upside of keyhole and its influence on keyhole bottom is weak. For more flux of coaxial shielding gas, the radial dimension of outer edge of keyhole increases but the radial dimension of inner edge of keyhole varies little. The distances from the centers of keyhole edges to that of laser spot decrease with increasing the flux of coaxial shielding gas, which indicates that the vertical axis of keyhole is nearer to that of laser beam. In general, coaxial shielding gas has little influence on keyhole.

Key words solid laser, deep penetration welding, keyhole, coaxial shielding gas, flux

Morphology processing in age of aluminum alloy metal inert gas welding pool

SHI Yu^{1,2}, FAN Ding^{1,2}, WU Wei¹ (1. State Key Lab of Advanced Non-ferrous Materials, Lanzhou University of Technology, Gansu Province, Lanzhou 730050, China; 2. Education Ministry Key Lab of Advanced Processing Technology for Non-ferrous Materials, Lanzhou 730050, China). p37–40

Abstract Weld pool geometry is a crucial factor in determining welding quality and its feedback control is a fundamental requirement of automated welding. Therefore, a vision sensing system for taking and processing the image of metal inert gas (MIG) welding pool of aluminum alloy is developed. Clear images of the MIG welding pool are obtained by u