

文章编号: 1001-3806(2012)06-0780-03

5052 铝合金 CO₂ 激光-MIG 复合焊接气孔特性分析

马志华¹ 陈东高¹ 李娜² 谭兵¹

(1. 中国兵器科学研究院 宁波分院 焊接工艺与材料研究室, 宁波 315103; 2. 浙江工业大学 机械工程学院 杭州 310014)

摘要: CO₂ 激光-金属惰性气体保护焊(MIG)复合焊接作为一种高效快速的焊接方法,其焊接铝合金较易产生气孔。为了分析中厚度铝合金 CO₂ 激光-MIG 复合焊接气孔特性,采用在 10mm 厚的 5052 铝合金上进行堆焊试验的方法进行了理论分析和实验验证,可知热源间距和背部保护气垫块对铝合金 CO₂ 激光-MIG 复合焊接气孔有较大的影响,热源间距在 2mm~3mm 时气孔率最小。结果表明,采用背部保护气垫块可以有效抑制气孔。

关键词: 激光技术; 气孔; CO₂ 激光; 热源间距; 复合焊接; 中厚度铝合金

中图分类号: TG456.7 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.06.017

Analysis of porosity characteristics of 5052 aluminum alloy welded by hybrid CO₂ laser-MIG welding

MA Zhi-hua¹, CHEN Dong-gao¹, LI Na², TAN Bing¹

(1. Laboratory of Welding Process and Materials, Ningbo Branch, China Academy of Ordnance Science, Ningbo 315103, China; 2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: Hybrid CO₂ laser-metal inertia gas(MIG) welding is an efficient and fast welding method, however, porosity is prone to produce when welding aluminum alloy. In order to analyze the porosity characteristics of aluminum alloy in medium thickness by means of hybrid CO₂ laser-MIG welding, 10mm thick 5052 aluminum alloy was welded by means of bead weld. Theoretical analysis and experimental verification was carried out. The results show that the heat source space and the back protection cushion block influence the porosity obviously. The porosity rate is minimum when the heat source spacing is 2mm~3mm. Porosity can be effectively suppressed by the back protection of cushion block.

Key words: laser technique; porosity; CO₂ laser; heat source spacing; hybrid welding; aluminum alloys in medium thickness

引言

在铝合金 CO₂ 激光-金属惰性气体保护焊(metal inertia gas, MIG)复合焊接的试验中发现,气孔是 CO₂ 激光-MIG 复合热源焊接的主要缺陷之一,这在一定程度上阻碍了铝合金激光-MIG 复合焊接的应用^[1-3]。由于激光-MIG 焊接较其它的熔焊方法熔池深宽大、焊接速率快、熔池的体积又小,因此熔池的冷却结晶速率极快,不利于气泡的上浮逸出,加之铝合金在固液状态下对氢的溶解度差异较大,这些因素均不利于铝合金激光-MIG 复合焊接气孔的防治。此前关于铝合金激光焊接气孔的研究较多,但对于激光-MIG 复合焊接的研

究还比较少,只有 UCHIUMI^[4] 等人对 5052 铝合金 YAG 激光-MIG 复合焊接气孔进行了初步研究,然而被焊母材厚度是 4mm,关于中厚度铝合金激光 MIG 复合焊接中气孔问题缺乏研究。因此,针对这一情况,作者采用 X 射线观察焊缝内气孔,对 5052 铝合金 CO₂ 激光-MIG 复合热源焊接气孔进行研究,分析焊缝气孔产生机理及影响焊缝气孔的焊接工艺参量。

1 试验材料与试验方法

1.1 试验材料及方法

试验采用母材为 5052 轧制铝合金板材, H32 热处理状态,焊接用试板尺寸为 300mm × 150mm × 10mm,铝合金焊丝采用牌号为 ER5356 焊丝,焊丝直径是 \varnothing 1.2mm,焊丝及母材的化学成分如表 1 所示。焊接试板的表面油污使用酸碱洗清洗干净,焊接试板及焊丝在 100℃ 烘干炉中干燥 2h。采用 He 气和 Ar 气混合保护气,He 气的体积分数为 0.995,Ar 气的体积分数为 0.9999,保护气体流量分别为 Ar 气 15L/min 和 He

基金项目: 国家八六三高新技术研究发展计划资助项目(2009AA03Z517); 宁波市自然科学基金资助项目(201001A6006004)

作者简介: 马志华(1982-),男,硕士,主要研究方向为激光焊接技术、激光电弧复合焊接技术及搅拌摩擦焊接技术。

E-mail: mzhbky2012@163.com

收稿日期: 2012-03-15; 收到修改稿日期: 2012-04-25

Table 1 Chemical composition of wires and base metal (mass fraction)

	$w(\text{Mn})$	$w(\text{Zn})$	$w(\text{Cr})$	$w(\text{Ti})$	$w(\text{Mg})$	$w(\text{Si})$	$w(\text{Al})$
ER5356	0.0015	≤0.0020	0.0015	≤0.0050	0.0500	0.0020	allowance
5052	0.0010	0.0015	0.0020	0.0015	0.0266	0.0011	allowance

Table 2 Welding process parameters

welding method	laser power P/W	welding speeding $v/(mm \cdot \min^{-1})$	defocusing distance $\Delta f/mm$	arc current I/A	wire extension b/mm
laser welding	4000	1000	0		
hybrid welding	4000	1000	0	145	14

1.2 试验设备

试验中采用德国 ROFIN 公司生产的 DC050 型 5kW 工业板条式 CO₂ 激光器及美国 Miller 公司生产的 INVISION 456MP 型 MIG 焊机; 激光模式为近 TEM₀₀, 其焦距是 300mm, 且其离焦量为 0mm 时光斑直径约为 0.45mm。试验采用如图 1 所示的激光在前 MIG 电弧在后且为旁轴复合的试验装置, 激光垂直于被焊工件, MIG 焊枪与被焊工件之间的夹角约为 65°。

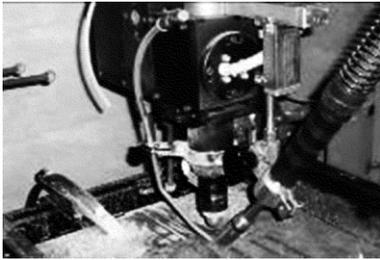


Fig. 1 Experiment setup of laser-MIG welding

2 实验结果及分析

2.1 气孔形成机理分析

气孔是焊接金属在凝固过程中内部或外部入侵气体残留在焊缝中形成的空穴或气囊。气孔的存在容易引起焊接接头结构及性能的不连续, 使焊接接头的有效承载面积减小, 容易导致应力集中, 明显削减焊接接头的韧性、塑性和强度, 进而使焊接接头疲劳及动载强度受到影响。在激光-MIG 复合热源焊接中, MIG 电弧的加入可以增加激光“匙孔”的稳定性^[5-6], 减少了单一激光焊接时产生气孔倾向。如图 2 所示, 在同一的激光功率及焊接速率下, 激光焊与激光 MIG 复合焊接焊缝 X 射线检测形貌图, 可以看出, 激光-MIG 复合焊接铝合金时产生气孔明显少于单一激光焊, 且大多是体积较小气孔。

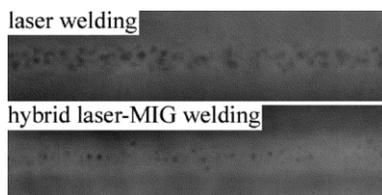


Fig. 2 Pattern diagram of X-ray detection

有关铝合金激光-MIG 复合焊接气孔大致可以分

为两类。一类是与氢有关的冶金类气孔。这类气孔体积一般较小, 可以通过焊前对焊接材料表面进行严格的物理或者化学清理以及加强对焊缝熔池的保护等措施加以抑制^[7]。另一类气孔是与激光“匙孔”不稳定波动有关的工艺类气孔, 如图 3 所示。这类气孔体积一般较大, 且处于焊缝下部。激光-MIG 复合焊接铝合金冶金类气孔的产生机理, 一般认为是铝合金表面的结晶水和化合水将逐步分解, 分解出的水分和空气及保护气中的水分可以在激光作用的高温区直接分解产生 H。这些 H 或者溶入过热的激光-MIG 复合热源焊接的熔池中, 随后在熔池的冷却结晶过程中析出而形成气泡, 或者直接在未完全熔化的氧化膜上产生气泡。这些气泡如不能上浮出则成为焊接气孔。而参考文献^[8]中认为工艺类气孔产生机理是激光“匙孔”瞬时坍塌导致的。由于激光“匙孔”是一个不断变化的过程, 一直处于一个不稳定的变化过程, 且“匙孔”孔径沿板厚方向也不断变化, 在熔池的上表面, 小孔直径较大, 在焊缝底部, “匙孔”直径较小。此外由于激光-MIG 复合焊接过程中激光能量也并不是均匀地作用在整个“匙孔”上, 而是非常集中地作用于“匙孔”前壁的某一部位置, 并造成局部材料的气化。当激光集中加热位置位于“匙孔”前壁的上部时, 由于“匙孔”上部直径比较大, 材料汽化产生的金属蒸气和等离子体比较容易喷发出去。但是, 当激光集中加热位置移动到“匙孔”根部时, 由于“匙孔”根部直径非常小, 金属蒸气和等离子体更不容易喷发出去, 增加了形成气孔的倾向。

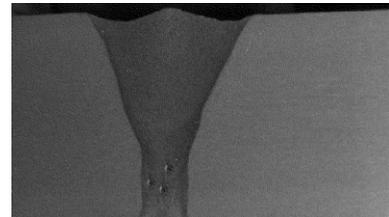


Fig. 3 Distribution diagram of process porosity

2.2 热源间距对气孔的影响

图 4 是激光与电弧热源间距为 0mm, 1mm, 2mm, 3mm, 4mm 和 5mm 时, X 射线检测铝合金焊缝内气孔的形貌图。由图可知, 热源间距为 0mm ~ 1mm 时, 焊缝气孔较多, 并呈线性分布在焊缝中央; 在热源间距为

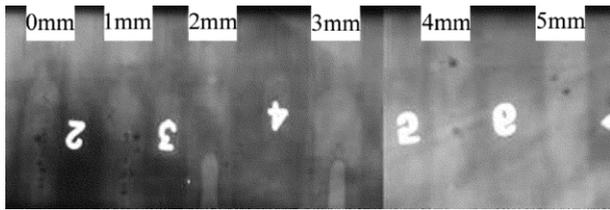


Fig.4 X-ray detection pattern diagram of influence of heat source spacing on weld porosity

2mm~3mm时,气孔数量最少;当间距超过4mm后,随着热源间距的增加,焊缝内气孔数量越来越多。这主要是因为当激光与MIG电弧的热源间距较小时,激光直接作用于熔滴上,消耗了部分激光能量,造成熔滴过渡不稳定;另外,由于MIG电弧强烈的作用力,增加了焊缝熔池的流动,容易导致激光“匙孔”瞬间坍塌,但是焊缝冷却速率较快,根部气孔来不及溢出,从而造成焊缝根部产生链状气孔。随着热源间距的增加,这种气孔明显减少,当热源间距在2mm~3mm时,气孔率最少。当热源间距大于4mm时,由于激光和MIG电弧的间距较大,两者的协同作用减弱,两者之间的作用发生间歇性分离,电弧对激光的稳定作用减弱,这样使得激光“匙孔”处于不稳定状态,激光“匙孔”瞬间失稳,“匙孔”前壁上的任何凸起位置都会因受到高功率密度激光的辐照而强烈蒸发,产生的蒸气向后喷射冲击后壁的熔池金属,引起熔池的振荡,从而造成激光“匙孔”坍塌,造成焊缝内气孔率增大^[8]。另一方面,随着热源间距增大,保护气体距离工件的距离增加,降低了其对熔池的保护作用,使周围空气卷入焊缝中,增加了气孔倾向^[9-10]。

2.3 背部保护气垫块代替铜垫块对焊缝气孔的影响

图5是采用背部保护气体前后,X射线检测铝合金焊缝内气孔的形貌图。从图中可以看出,采用背部保护气体后,焊缝内的气孔明显减少。其主要原因是,激光MIG复合焊接采用铜垫块时,由于铜的导热性极强使得熔池底部温度低,焊缝根部未除净的氧化膜不能完全熔化,从而导致形成氧化膜气孔。采用如图6所示的背部保护气垫块,焊接时采用一定压力的氩气强制成形,由于焊缝背部散热条件的改变,坡口表面未

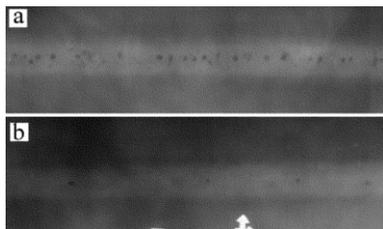


Fig.5 X-ray detection pattern of back protection on weld porosity
a—X-ray detection pattern diagram of copper pad protection b—X-ray detection pattern diagram of back protection cushion

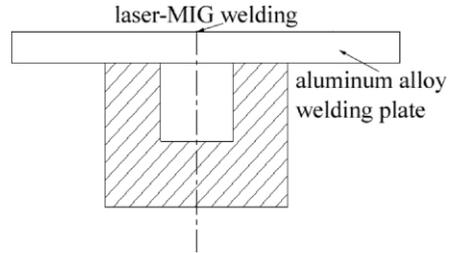


Fig.6 Schematic diagram of cushion for protecting the weld back

除净的氧化膜可以完全熔化,从而避免了氧化膜气孔;另一方面,氩气可以对熔池背面进行保护,防止熔池背面吸氢,从而减少溶氢型气孔。

3 结论

铝合金CO₂激光-MIG复合焊接过程中存在着与氢有关的冶金类气孔和与激光匙孔有关的工艺类气孔。热源间距为2mm~3mm之间,焊缝内气孔率最小;热源间距不在这个范围内都会增加焊缝内形成气孔倾向。采用背部保护气垫块代替铜垫块可以抑制焊缝背部氧化膜气孔及溶氢型气孔。

参考文献

- [1] ZHENG Q G, GU J H, WANG T, *et al.* Investigation on melting pool behavior and defects of laser welding [J]. *Laser Technology*, 2000, 23(2): 90-94 (in Chinese).
- [2] CUI L, HE D Y, LI X Y, *et al.* Research progress of laser-arc hybrid welding processing parameters [J]. *Laser Technology*, 2011, 35(1): 65-69 (in Chinese).
- [3] GAO M, ZENG X Y, HU Q W. CO₂ laser-pulsed MAG hybrid welding of mild steel [J]. *Laser Technology*, 2006, 30(5): 498-500 (in Chinese).
- [4] UCHIUMI S, WANG J B, KATAYAMA S *et al.* Penetration and welding phenomena in YAG laser-MIG hybrid welding of aluminum alloy [C]//ICALEO 2004 23rd International Congress on Applications of Laser and Electro-Optics Congress Proceeding. Orlando, USA: Laser Institute of America, 2004: 530-531.
- [5] MATSUNAWA A. Dynamics of keyhole and molten pool in high power laser welding [J]. *Journal of Laser Applications*, 1998, 10(6): 247-254.
- [6] CHEN Y B. *Modern laser technology* [M]. Beijing: Science Press, 2006: 85-89 (in Chinese).
- [7] GONG Sh L, YAO W, SHI S. Porosity formation mechanisms and controlling technique for laser penetration welding of aluminum alloy [J]. *Transactions of the China Welding Institution*, 2009, 30(1): 60-63 (in Chinese).
- [8] YAN J. Study on technology, defects and joint quality by fiber laser-arc hybrid welding high strength aluminum alloys [D]. Wuhan: Huazhong University of Science & Technology, 2011: 62-70 (in Chinese).
- [9] FORSMAN T, MAGNUSSON C. Process instability in laser welding of aluminum alloys at the boundary of complete penetration [J]. *Journal of Laser Applications*, 2001, 13(5): 193-198.
- [10] KATAYAMA S, KOBAYASHI Y, MIZUTANI M. Effect of vacuum on penetration and defects in laser welding [J]. *Journal of Laser Applications*, 2001, 13(5): 187-192.