

低功率 YAG 激光真空焊接工艺*

Low-Power YAG Laser Welding Process Under Vacuum Condition

西北工业大学材料学院 包海涛 刘金合 刘 钊 徐韦锋

[摘要] 研究了不同真空度条件下用低功率 YAG 激光焊接 304 不锈钢的情况。为证实真空度对等离子体的抑制作用,分别对不同真空度下能量输入以及焊接速度对焊缝熔深的影响做了系统的分析;对比了真空和大气中获得的焊缝表面宏观形貌,分别做了金相显微组织分析和显微硬度测量。

关键词: 低功率 YAG 激光 304 不锈钢 真空 微观组织

[ABSTRACT] The characteristics of using low-power YAG laser welding 304 stainless steel under different vacuum degree are investigated. In order to confirm that vacuum condition can restrain plasma effectively, the effect of welding speed and energy input on welding penetration are analyzed. Macroappearances of the seam welded under different vacuum conditions are compared, and the microstructure as well as microhardness are tested.

Keywords: Low-power YAG laser 304 stainless steel Vacuum Microstructure

激光焊接有以下优点:(1) 热输入量小,深宽比较大,因此热影区小,工件收缩和变形较小;(2) 焊接具有连续性和可重复性;(3) 焊道窄且表面质量好,焊缝强度高;(4) 对于准确定位的焊缝易于实现自动化;(5) 可实现异种材料的焊接;(6) 激光控制比较灵活;(7) 焊接速度快。但是激光焊接过程中产生的等离子体对入射激光具有显著的屏蔽作用。一方面,致密的光致等离子体通过吸收和散射入射光,影响了激光的能量传输效率,大大减弱了到达工件的激光能量密度,导致焊缝熔深变浅^[1];另一方面,等离子体对入射激光束的折射使得激光通过等离子体时发生畸变,改变了激光能量在工件上的作用区域,影响了焊缝成形,甚至使焊接无法进行;另外,普通激光焊接熔池金属的特殊流动机理以及小孔

效应的特殊性会产生大量的气孔^[2]。因此,一种既能抑制等离子体产生,又能减少气孔的真空激光焊接技术受到了普遍关注^[2-3]。真空激光焊接技术还能有效解决真空电子束焊接难以解决的磁性材料焊接问题以及微电子元件的封装问题^[3],这是很有价值的。综上所述,激光真空焊接技术的开发与应用,对未来制造业的发展将会起极其重要的作用。

1 试验设备和方法

试验选用 3mm 厚的 304 不锈钢作为焊接材料,材料成分如表 1 所示。

焊接前用砂纸打磨试件表面,并用丙酮擦洗以除掉油污,焊接设备选用 LD804M 激光焊机和 Motoman-HP6 焊接机器人。

试验使用 2X-8 型旋片真空泵抽气,抽气速率为 8L/s,极限真空度为 6×10^{-2} Pa;试验使用的真空测量仪器为 SVG-1TP 电阻真空测量计,其测量范围是 $10^{-1} \sim 10^5$ Pa。真空焊接系统如图 1 所示。

将被焊材料放置在真空室中,真空室及待焊接材料保持固定位置,通过焊接机器人夹持光纤运动进行焊接。采用这种方法进行焊接可以保证焊接过程的稳

表 1 304 不锈钢的化学成分

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
含量 w/%	≤0.07	≤1.00	≤2.00	≤0.035	≤0.030	17.00~19.00	8.00~11.00	余量

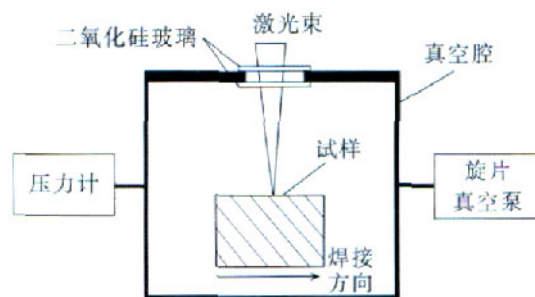


图 1 真空激光焊接示意图

Fig.1 Diagram of vacuum laser welding

* 国家自然科学基金(50675179)资助项目。

定,通过光纤传导透过窗口材料进行焊接可以避免焊接过程的金属蒸汽和飞溅污染激光镜头。焊接时先抽真空,当真空度达到焊接所需值并保持稳定后,启动机器人进行焊接程序。焊接完成后,继续保持真空度一段时间(防止冷却过程中发生氧化)再进行放气和停泵。

2 试验结果分析

图2为在焊接参数相同(脉宽16ms,脉冲频率3.5Hz,电压675V,脉冲能量72.6J,焊接速度1mm/s)时分别在大气和真空中获得的304不锈钢焊缝表面形貌。与大气中进行激光焊接相比,在真空中进行激光焊接时反射弧小,焊缝表面成形良好,而且有非常明显的金属光泽。这主要是因为真空环境中焊接时没有氧气的作用,避免了焊缝金属的氧化和烧损。同时,从图2中可以发现真空中的焊缝比大气中的焊缝略窄。

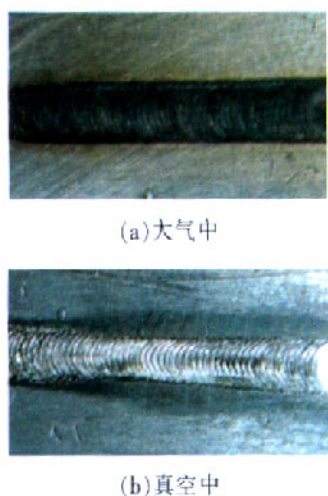


图2 大气和真空环境下304不锈钢焊缝表面形貌

Fig.2 304 stainless steel seam appearance under air and vacuum condition

不同的真空度对焊缝宏观形貌和熔深产生的影响如图3和图4所示,图3为不同真空度下焊缝宏观形貌,图4为在给定焊接参数(脉宽20ms,脉冲频率2Hz,电压650V,脉冲激光能量118.3J,焊接速度0.5mm/s)下真空度对熔深的影响,从图4中可以看到,焊缝熔深随着真空度的降低而增加,因为当激光功率密度较低时,等离子体仅由金属离子蒸汽组成,此时在工件表面形成的等离子体比较稀薄,而且紧贴金属工件表面形成热传导,有助于加强工件对激光能量的吸收。

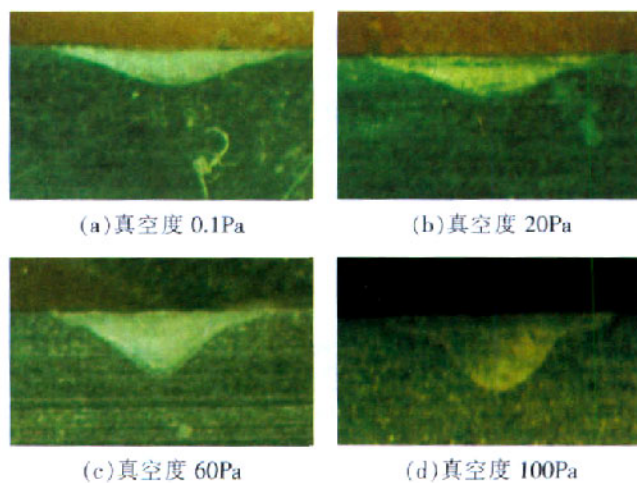


图3 不同真空度下的焊缝宏观形貌

Fig.3 Macroappearance of seam welded under different vacuum degree

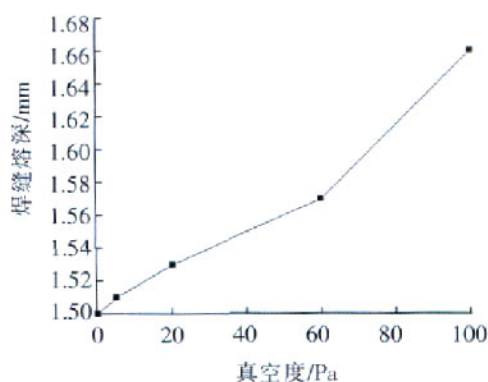


图4 真空度对焊缝熔深的影响

Fig.4 Effect of vacuum degree on welding penetration

在真空中进行激光焊接时,随着真空度的提高,其对等离子体的抑制作用不断加强,导致等离子体的热传导作用大大减弱。当真空度较高时焊缝熔深较浅,而当真空度较低时产生的等离子体比较多,并且在低功率激光能量输入下等离子体有促进熔化的作用,因此焊缝相对较深。其实,当激光功率较大时,随着真空度的提高能明显增加熔深,因为当激光功率较大时发生激光深熔焊,此时等离子体会吸收激光能量,对激光产生散射和折射作用。所以此时的等离子体才真正对激光焊接起到抑制作用,这时候如果将真空焊接技术引入到激光焊接过程当中,将会有效地增加焊接熔深。

图5为不同真空度条件下脉冲对熔深的影响。从图中可以看出焊缝的熔深随着激光能量的增加而增

加。当真空度较低时,能量越大熔深增加越明显,而当真空度较高时,等离子体几乎完全被抑制,失去高温等离子体的热传导作用,即使脉冲能量增加仍然不会产生明显的焊缝熔深增加。图5中当真空度为0.1Pa、5Pa、20Pa时,熔深随激光能量变化的趋势基本相同,但当真空度降到100Pa时,随着能量的增加,熔深增加的幅度明显变大。

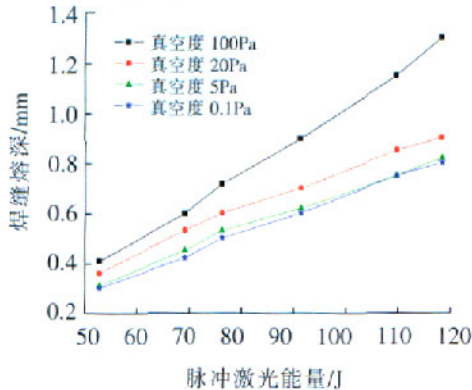


图5 不同真空度条件下脉冲能量对熔深的影响
Fig.5 Effect of pulsed laser power on welding penetration under different vacuum degree

图6为不同真空度下焊接速度对焊缝熔深的影响,可以看出,熔深随着焊接速度的增加而减小。真空度越低,熔深随速度的增加而减小的趋势越明显。在进行激光焊接时,可以用线能量来描述工件接受激光辐射能量的情况。线能量是指单位长度焊缝接收的激光能量。焊接速度低时,线能量较大,熔深增加;反之熔深减小。真空度较低且焊接速度较低时,工件表面的等离子体数量较多,输入工件的能量较高,因而熔深较大;焊接速度较高时,输入工件的能量少,产生的

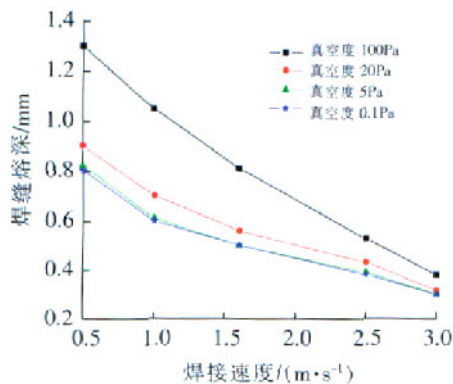
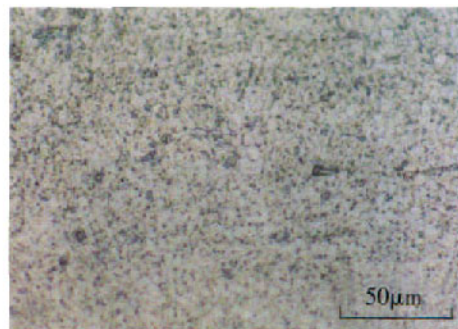


图6 不同真空度下焊接速度对熔深的影响
Fig.6 Effect of welding speed on welding penetration under different vacuum degree

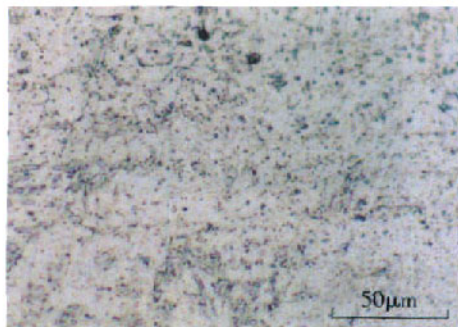
等离子体较少,对工件的热传导作用也就较小,熔深较小。

3 显微组织分析

图7是分别在真空和大气环境中获得的激光焊接焊缝显微组织形貌。比较大气和真空中得到的焊缝晶粒大小,可以发现在大气中获得的接头焊缝区的晶粒比真空中的有一定程度的长大。这主要是因为低功率激光焊接时,等离子体会对工件起到热传导作用,大气中的激光焊接产生的等离子体没有被抑制,而真空中的激光焊接产生的等离子体被很好地抑制。等离子体的存在使焊缝的冷却速度降低,最终导致真空中焊缝晶粒明显小于大气中的焊缝晶粒。



(a)真空中



(b)大气中

图7 304 不锈钢激光焊接的焊缝微观组织
Fig.7 Microstructure of welding seam of 304 stainless steel by laser welding

图8为304 不锈钢焊缝区显微硬度分布。对比真空和大气中获得的焊缝中心附近显微硬度会发现:在真空中进行激光焊接得到的焊缝中心附近的显微硬度明显高于大气中进行焊接得到的焊缝中心区的显微硬度。这主要是因为真空中的激光焊接头的等离子体被有效抑制,不存在等离子体的长期热传导作用,没有发生晶粒长大,因而焊缝区及其热影响区的晶粒

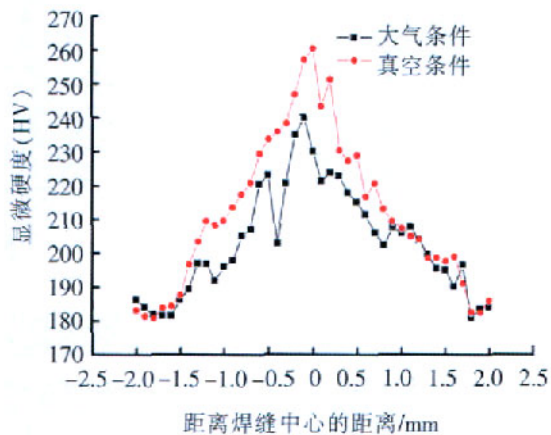


图8 304 不锈钢焊缝显微硬度分布
Fig.8 Microhardness distribution of
304 stainless steel welding seam

相对较小,提高了接头的显微硬度。

4 结论

(1)试验结果表明:与大气中的激光焊接相比,真空中进行的激光焊接金属表面反射的电弧小,焊缝表面质量好,有明显的金属光泽。

(2)真空度对低功率 YAG 激光焊接的影响主要表现为:焊缝熔深随真空度的降低而增加。

(3)不同真空度下焊缝熔深随着激光脉冲能量的提高而增加,随着焊接速度的降低而增加。随着脉冲激光能量的增加,真空度对熔深的影响增强。真空度对熔深的影响随着焊接速度的降低而增强。

(4)焊接接头的微观组织及显微硬度测试表明:激光焊接 304 不锈钢时,大气中的焊缝晶粒比真空中得到的晶粒有所长大,导致其焊缝区和热影响区的显微硬度值比真空中进行激光焊接得到的低。

参 考 文 献

- [1] Beck M, Berger P, Hugel H. The effect of plasma formation on beam focusing in deep penetration welding with CO₂ lasers, J Phys D: Appl Phys, 1995, 28: 2 430-2 442.
- [2] Verwaerde A, Fabbro R. Experimental study of continuous CO₂ laser welding at subatmospheric pressures. J Appl Phys, 1995, 78(5): 2 981-2 984.
- [3] 曹丽杰, 张朝民. 气体对激光焊接熔深和等离子体行为的影响. 佳木斯大学学报 (自然科学版), 2001, 19(2): 171-174.
- [4] Seiji Katayama, Oshihiro Kobayashi, Masami Mizutani. Effect of vacuum on penetration and defects in laser welding.

Laser Applications. 2001(10): 187-192.

- [5] Tuan-Ahn Mai, Glok Hong Tay, Ee Wee Koh. Laser vacuum welding of aluminium, Kovar and Ni-Fe alloys for hermetic encapsulation of electronic components. ICALAO 2002, 4: 2 621-2 630.

(责编 淡蓝)

(上接第 91 页)

4.4 扎实的管理是项目推进的基础

企业信息化不能脱离基础管理的操作平台,基础管理工作的加强和改进为信息化建设提供了保障,只有把基础管理与信息化相结合,企业管理水平才能实现质的飞跃。

4.5 抓好基础数据的收集和分析

基础数据是企业的宝贵财富,做好基础数据的收集和整理工作是项目应用推进的第一步,也是企业规范化管理的重要组成部分。“二分技术、七分管理、十一分数据”,数据管理不仅工作量非常大,而且其质量的好坏直接决定项目的成败。

4.6 人员培训是项目实施的保证

项目实施可能会改变人的作用和工作方式以及传统观念。从一定意义上说人的素质不适应是项目实施的最大障碍。因此,要把提高职工素质放在企业信息化工作的首位,特别要加强各部门主要领导的培训。培养既熟悉航空企业相关业务又掌握信息化技术的项目骨干队伍是项目实施成功的重要保证。

5 结束语

本课题在分析航空工业背景及实施 CIMS 工程情况的基础上提出了一种分布式集成制造系统的解决方案,给出了分布式集成制造系统的物理结构和网络结构,这种拓扑结构可以通过航空集团已建成的信息专网——金航网将流行的 MAP 网、TOP 网等巧妙地结合在一起,具有结构清晰、功能明确等特点。最后本文给出了航空工业在实施 CIMS 过程中需要注意的一些环节和因素。

参 考 文 献

- [1] 常本英,黎建强,徐祺. 计算机集成制造系统(CIMS)导论. 安徽:安徽科学技术出版社,1997.
- [2] 杜来红,陈桦,房亚东. 基于网络化制造模式的制造资源管理系统研究. 机械设计与制造,2005(5):67-70.
- [3] 赵利民,黄双喜,徐智勇. 航空工业现代集成制造系统设计. 航空制造技术,2007(2):38-41.
- [4] 黄双喜,范玉顺. 航空 CIMS 集成支撑平台设计. 航空制造技术,2002(8):26-28.

(责编 微凉)