

双光束激光焊接技术研究 现状及应用

Research Status and Application of Dual Beam Laser Welding Technology

上海航天精密机械研究所 赵耀邦 成群林 李中权
上海航天技术研究院 王玉平



赵耀邦

博士,2012年就职于上海航天精密机械研究所。现任上海航天精密机械研究所技术研发中心激光加工专业副主任研究员,高级工程师。作为技术负责人或主要技术人员参与了国家重大科技专项、总装探索一代等多项激光加工装备及工艺研究项目。

因激光焊的激光束光斑直径小,可精确控制焊接热输入,焊接线能量小,因此激光焊接变形和残余应力均很小,同时焊接热影响区窄、焊缝金属晶粒粗化倾向小。

对于钣金成形的薄壁结构件来说,由于成形精度难以控制,焊接装配间隙较大,且存在一定的错边,同

阐述了双光束激光焊接技术特点及研究现状,对钛合金双光束激光焊接工艺进行研究,采用双光束激光焊能增强激光焊接的工艺适应性,减少焊接缺陷,焊接过程更加稳定。试验研究表明,钛合金双光束激光焊焊缝成形良好,钛合金双光束激光焊接头强度与母材相当。采用双光束激光焊接某钛合金薄壁结构件,满足设计要求的焊缝质量标准要求。

DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2015.23/24.090

时钛合金、铝合金激光焊的气孔倾向较大,给激光焊接技术在薄壁结构件的应用带来了困难。

为解决常规单光束激光焊存在的局限性,将单光束激光分离成两束激光,通过改变两束激光能量配比、光束间距、排布方式,对激光焊接温度场、流动场进行方便、灵活调节,改变匙孔的存在模式与熔池的流动方式,提高单激光焊的工艺适应性,为激光焊接工艺提供更加广阔的选择空间。双光束激光焊接不仅拥有激光焊残余应力变形小、接头质量好等优点,且能较好解决常规激光焊接间隙适应性差、气孔倾向大、合金元素烧损严重等问题^[1]。

TIG焊、激光焊、双光束激光焊3种焊接工艺在焊接残余应力和变形、焊缝和热影响区宽度、间隙和错边适应性、气孔倾向、合金元素烧损和挥发等方面的比较如表1所示。可看出双光束激光焊既保留了一般激光焊的优点,又克服了其固有缺陷。由此可见,双光束激光焊技术是实现薄壁结构件优质化、高适应性焊接的重要技术途径。

双光束激光焊接 技术发展现状

1 双光束激光焊接机理研究

双光束激光基础研究的重点集中在单光束与双光束对比下的温度

表1 TIG焊、单光束激光焊、双光束激光焊3种焊接工艺比较

参数	TIG 焊	单光束激光焊	双光束激光焊
焊接残余应力、变形	大	小	小
焊缝、热影响区宽度	宽	窄	窄
间隙、错边适应性	好	差	好
气孔倾向	小	大	小
合金元素烧损、挥发	少	多	少

场、流动场分布特征以及等离子体、匙孔稳定性等方面。

宾夕法尼亚大学 J.Hu 对双光束激光焊接匙孔形貌进行了三维数值仿真计算,研究发现随着两束光光斑间距增加,由一个匙孔逐渐变为两个,熔池尺寸增大^[2]。曼彻斯特大学 Blackburn 等采用高速摄像研究了钛合金双光束激光焊接等离子体特征,发现与单光束激光焊接相比,光致等离子体更加稳定,分析得出双光束激光焊接匙孔一直处于开放状态,从而使等离子体从匙孔中不断逸出,匙孔内等离子体的压力值始终保持在较低水平,因此不会出现剧烈的等离子体从匙孔内爆发而出的现象,焊接过程中飞溅较少^[3]。

2 双光束激光焊接应用研究

在航天领域,南非科学与工业研究中心国家激光中心(CSIR: National Laser Center)开展了用于导弹发动机壳体的马氏体时效钢激光焊接技术研究,分别采用单激光焊、双光束激光焊以及脉冲激光焊3种工艺,结果表明双光束激光焊的焊缝成形最好,拉伸试验断裂在母材,且具有良好的工艺重复性^[4]。

双光束激光用于填丝钎焊、异种材料的焊接,能增强激光钎焊、填丝焊工艺的焊丝、钎料的熔化能力及过程稳定性,可实现异种材料优质焊接。采用双光束焊接不等厚板,在汽车拼焊板加工领域已有一定的工业化应用^[1]。

钛合金双焦点激光焊接技术研究

1 钛合金双光束激光焊接焊缝成形

1.5mm 厚钛合金双光束激光焊和 TIG 焊焊缝表面成形对比如图 1 所示,可看出传统 TIG 焊工艺无论是焊缝正面还是背面的宽度均远大于双光束激光焊。因此,双光束激光焊接焊缝及热影响区宽度均远小于 TIG 焊。

2 钛合金双光束激光焊接变形

为定性描述双光束激光焊接对焊接变形的控制,对比测量平板 TIG 焊和双光束激光焊在纵向挠曲变形和横向角变形的大小,如图 2 所示。TIG 焊纵向最大挠曲变形高达 14.3mm,双光束激光焊只有 2.7mm; TIG 焊横向最大角变形 8.6°,双光束激光焊只有 2.4°。

3 钛合金双光束激光焊接力学性能

钛合金焊接接头的室温平均抗



(a) TIG 焊正面焊缝成形



(b) TIG 焊背面焊缝成形



(c) 双光束激光焊正面焊缝成形



(d) 双光束激光焊背面焊缝成形

图1 双光束激光焊与TIG焊缝表面成形对比



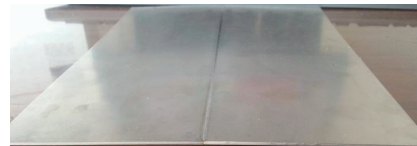
(a) TIG 焊纵向挠曲变形



(b) TIG 焊横向角变形



(c) 双光束激光焊纵向挠曲变形



(d) 双光束激光焊横向角变形

图2 平板TIG焊和激光焊焊接变形对比

拉强度为 1040.2MPa,与母材的抗拉强度相当。焊接接头的断裂位置均在母材区域,说明焊缝的抗拉强度稍高于母材,与文献[5]采用单光束激光焊接钛合金的力学性能大致相当。

4 钛合金薄壁结构件双光束激光焊接

针对某钛合金薄壁结构件纵缝双光束焊接,采用琴键式工装夹紧,焊缝正面、背面同时有氩气保护,为避免焊接过程中热变形导致间隙及错边变形,在纵缝焊接前先进行两端定位焊,最大间隙、错边量可达 0.2mm。对产品进行 X 射线检测,未发现超标缺陷,满足设计要求的 QJ1666A-2011 II 级焊缝质量标准要求,采用三坐标测量仪对焊后直线度、圆度进行测量,达到设计指标,无需焊后矫形。

图 3 为钛合金薄壁结构件双光束激光焊接实物。



图3 钛合金薄壁结构件双光束激光焊接实物

结论

(1) 双光束激光焊随着两光斑间距的增加,由单个匙孔变为两个匙孔;双光束激光焊致等离子体较单激光焊更加稳定。

(2) 双光束激光焊在国外航天及其他工业领域已有一定程度的应用。

(3) 双光束激光焊焊接焊缝以及热影响区宽度均远小于 TIG 焊,纵向挠曲变形和横向角变形均小于 TIG

焊。

(4) 钛合金双光束激光焊接头强度与母材相当。

(5) 采用双光束激光焊接钛合金薄壁结构件,达到设计指标,且无需焊后矫形。

参考文献

- [1] 陈彦宾. 现代激光焊接技术. 北京: 科学出版社, 2005.
- [2] ZHOU J. Modeling the transport phenomena in moving 3-D dual beam laser keyhole welding. ASME Summer Heat Transfer

Conference. New York, 2005.

[3] BLACKBURN J E, ALLEN C M, HILTON P A, et al. Dual focus Nd: YAG laser welding of titanium alloys//Proceedings of 36th International MATADOR Conference. London, 2010.

[4] VAN ROOYEN C, BURGER H P, KAZADI P, et al. Comparison of CO₂ and Nd:YAG laser welding of grade 250 maraging steel. IIW Doc. Wien, 2006.

[5] 董智军, 吕涛, 雷正龙, 等. 激光焊接 TC4 钛合金组织性能研究. 航天制造技术, 2013(1):27-30.

(责编 古京)

(上接第 89 页)

114.

[6] 李亚江, 刘坤. 钛合金在航空领域的应用及其先进技术. 航空制造技术, 2015, 486(16): 34-37.

[7] 季亚娟, 张田仓, 李晓红. TC11/TC17 钛合金线性摩擦焊接头组织与性能. 航空制造技术, 2013(8):66-69.

[8] 李晓延, 巩水利, 关桥, 等. 大厚度钛合金结构电子束焊接制造基础研究. 焊接学报, 2010,31(2): 107-112.

[9] 芦伟, 巩水利, 马旭颀, 等. 双光束激光焊钛合金 T 形接头的组织特征与力学性能. 航空制造技术, 2015(17): 104-106.

[10] BOYER R R, BRIGGS R D. The use of β titanium alloys in the aerospace industry. Journal of Materials Engineering and Performance, 2005, 14(6): 681-685.

[11] WU H, CHEN Y, STRONG D, et al. Stationary shoulder FSW for joining high strength aluminum alloys. Journal of Materials Processing Technology, 2015, 221: 187-196.

[12] WU A P, SONG Z H, NAKATA K, et al. Defects and the properties of the dissimilar materials FSW joints of titanium alloy TC4 with aluminum alloy 6061// FUJII H. Proceedings of the 1st International Joint Symposium on Joining and Welding. Woodhead Publishing, 2013: 243-248.

[13] 栾国红, 柴鹏, 孙成斌. 钛合金的搅拌摩擦焊探索. 焊接学报, 2005,26(11): 83-88.

[14] 石珩, 陈作雁, 薛诚, 等. 双旁路耦合电弧铝合金 MIG 焊熔滴过渡形态研究. 机械工程学报, 2010,46(20): 76-79.

[15] 杨春利, 刚铁, 林三宝, 等. 高强铝合金厚板双丝 MIG 焊工艺的初步研究. 中国有色金属学报, 2004,14(S1): 259-264.

[16] WANG X, LU F, WANG H P, et al. Mechanical constraint intensity effects on

solidification cracking during laser welding of aluminum alloys. Journal of Materials Processing Technology, 2015, 218: 62-70.

[17] VON WITZENDORFF P, KAIERLE S, SUTTMANN O, et al. Using pulse shaping to control temporal strain development and solidification cracking in pulsed laser welding of 6082 aluminum alloys. Journal of Materials Processing Technology, 2015, 225: 162-169.

[18] ALSHAER A W, LI L, MISTRY A. The effects of short pulse laser surface cleaning on porosity formation and reduction in laser welding of aluminium alloy for automotive component manufacture. Optics & Laser Technology, 2014, 64: 162-171.

[19] OLIVEIRA A C, SIQUEIRA R H M, RIVA R, et al. One-sided laser beam welding of autogenous T-joints for 6013-T4 aluminium alloy. Materials & Design, 2015, 65: 726-736.

[20] 陈俐, 巩水利. 铝合金激光焊接技术的应用与发展. 航空制造技术, 2013(11):46-49.

[21] AKMAN E, DEMIR A, CANEL T, et al. Laser welding of Ti6Al4V titanium alloys. Journal of Materials Processing Technology, 2009, 209(8): 3705-3713.

[22] GAO X L, ZHANG L J, LIU J, et al. A comparative study of pulsed Nd: YAG laser welding and TIG welding of thin Ti6Al4V titanium alloy plate. Materials Science and Engineering: A, 2013, 559: 14-21.

[23] 赵志远, 江少华, 周煜青. 机身钛合金壁板激光焊接技术研究及应用. 航空制造技术, 2013(16): 134-138.

[24] SALIH O S, OU H, SUN W, et al. A review of friction stir welding of aluminium matrix composites. Materials & Design, 2015, 86: 61-71.

[25] 赵衍华, 林三宝, 吴林, 等. 搅拌摩擦焊应用及焊接设备简介. 电焊机, 2004,

34(1): 7-11.

[26] COMMINS L, DUMONT M, MASSE J E, et al. Friction stir welding of AZ31 magnesium alloy rolled sheets: influence of processing parameters. Acta Materialia, 2009, 57(2): 326-334.

[27] 苏晓莉. 5A02 铝合金搅拌摩擦焊接工艺及温度场研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2006.

[28] 丁文兵, 童彦刚, 朱飞, 等. 搅拌摩擦焊搅拌头的研究现状. 激光杂志, 2013, 34(6): 5-7.

[29] 贺永海, 张立武. 搅拌摩擦焊用搅拌头的研究进展. 航天制造技术, 2005(5): 47-51.

[30] 董春林, 栾国红, 关桥. 搅拌摩擦焊在航空航天工业的应用发展现状与前景. 焊接, 2008(11): 25-31.

[31] 李占国, 李光, 佟建华. 大厚度飞机铝合金搅拌摩擦焊性能研究. 航空制造技术, 2009(22): 68-71.

[32] 关桥. 轻金属材料结构制造中的搅拌摩擦焊技术与焊接变形控制 (上). 航空科学技术, 2005(4): 13-16.

[33] 周利, 周炜璐, 杜正勇, 等. 钛及钛合金搅拌摩擦焊研究进展. 精密成形工程, 2015(5): 46-51.

[34] BUFFA G, FRATINI L, MICARI F. Mechanical and microstructural properties prediction by artificial neural networks in FSW processes of dual phase titanium alloys. Journal of Manufacturing Processes, 2012, 14(3): 289-296.

[35] FRATINI L, MICARI F, BUFFA G, et al. A new fixture for FSW processes of titanium alloys. CIRP Annals - Manufacturing Technology, 2010, 59(1): 271-274.

[36] 陈思杰, 朱春莉. 钛及钛合金先进连接技术研究. 热加工工艺, 2015(3): 18-21.

(责编 叶枫)