

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0239-03

1420 铝锂合金 YAG 激光焊接

肖荣诗, 杨武雄, 陈 锐

(北京工业大学激光工程研究院, 北京 100022)

摘要 采用大功率 YAG 激光器,研究了 1420 铝锂合金的激光焊接特性。实验结果表明:1420 铝锂合金激光深熔焊接的临界功率密度约为 $1.2 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$, 低于常规铝合金激光深熔焊接阈值。气孔是主要的焊接缺陷, 通常出现在熔合线附近。拉伸实验表明, 焊缝靠近熔合线处是接头最薄弱的部位。

关键词 激光技术; 1420 铝锂合金; YAG 激光焊接; 气孔; 接头强度

中图分类号 TN253 **文献标识码** A

Nd:YAG Laser Welding of 1420 Aluminum-Lithium Alloy

XIAO Rong-shi, Yang Wu-xiong, CHEN Kai

(Institute of Laser Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract Welding of 1420 aluminum-lithium alloy has been investigated using a high power YAG Laser. The results show that the threshold for penetration welding of 1420 Al-Li alloy is about $1.2 \times 10^6 \text{ W/cm}^2$, lower than those of the traditional Al alloys. Pores, which are the main welding defects, mainly locate near the bond line. Tensile test shows that the weld near the bond line is the weakest part of the joint.

Key words laser technique; 1420 aluminum-lithium alloy; YAG laser welding; porosity; joint strength

1 引 言

铝锂合金由于具有低的密度、高的比强度和比刚度、优良的低温性能、良好的耐腐蚀性能和超塑性,在航空航天工业中被国际公认为具有广泛应用前景的优异材料。用铝锂合金取代常规高强铝合金可使结构质量减轻 10%~15%,刚度提高 15%~20%^[1]。目前,美国、俄罗斯等国家在航空航天飞行器上大量应用了铝锂合金材料。

采用钨极氩弧焊或熔化极氩弧焊焊接铝锂合金时,由于热输入量大,接头存在明显的软化,强度系数低^[2]。激光焊接具有焊接速度快、热输入量小、焊缝结晶组织精细、热影响区窄等特点,被认为是铝合金结构联接方法中最具技术和经济优势的方法^[3,4]。20 世纪 90 年代以来,随着一批新型铝锂合金的开发和应用,铝锂合金激光焊接性的研究受到越来越广泛的重视^[5~9]。本文采用 Nd:YAG 激光器焊接 1420 铝锂合金,对这种合金的激光焊接特性进行探讨。

2 实验材料和方法

实验材料为 Al-Mg5.5-Li2.1-Mn0.2-Zr0.18 铝锂合金(1420 铝锂合金),试样规格为 100 mm×50 mm×1.9 mm。实验前试样经过 5%氢氧化钠的腐蚀,处理温度为 60 °C,时间为 3 min,然后用 30%硝酸进行 1.5 min 的中和光化,最后用清水清洗并烘干待用。

实验采用德国 Rofin Sinar 公司生产的 CW2500 YAG 激光器和首钢 Motoman 公司生产的六轴机械手,采用芯径为 0.6 mm 光纤传输,聚焦镜焦距 120 mm,聚焦光斑直径 0.36 mm。为了保护焊接熔池,采用侧向喷嘴提供氦气对焊缝正面实施保护,气体流量为 25 L/min,焊缝背面利用氩气保护,气体流量为 5 L/min。

实验首先采用平板扫描焊接方式测定 1420 铝锂合金 YAG 激光深熔焊接功率密度阈值,优化焊接工艺参数后再进行对接试样的焊接,并进行金相分析和拉伸实验,最后采用扫描电镜(SEM)对拉伸试样断口

基金项目: 国家教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-04-0204)和北京市教委科技发展计划(KZ200510005005)资助课题。

作者简介: 肖荣诗(1965—),男,湖南人,教授,博士生导师,主要从事先进材料激光加工理论与技术研究。

E-mail: rsxiao@bjut.edu.cn

形貌进行观察分析。拉伸实验共焊接三对焊接试样,从每对焊接试样上截取两个拉伸试样,共6个拉伸试样。拉伸实验设备为 MTS810.22M/TestStar™ HS 电液伺服万能材料试验机,拉伸速度为 2 mm/min。

3 实验结果及分析

3.1 激光深熔焊接阈值

图1所示为几种典型铝合金 YAG 激光深熔焊接阈值曲线,焊前试样表面均采用相同的化学处理工艺以清除表面氧化膜,焊接速度为 $V_w=3$ m/min。由图可见,与 2024,2219,LF3 和 7075 几种常规铝合金相比,1420 铝锂合金的深熔焊接阈值最低,约为 1.2×10^6 W/cm²。分析表明铝合金激光深熔焊接阈值与合金元素的成分和含量有密切的关系。当铝合金中低熔点、低沸点合金元素 Li、Mg 和 Zn 的含量越高时,激光深熔焊接的阈值越低。原因是这些元素在激光束的照射下更容易优先蒸发,从而有利于深熔小孔的产生,深熔焊接的阈值也就相应地降低。如常规铝合金中,7075 含有较多的 Mg 和 Zn,因此激光深熔焊接的阈值较低,而 2219 铝合金中 Mg 和 Zn 的含量很少,因此激光深熔焊接的阈值较高。1420 铝锂合金中含有大量的低熔点、低沸点的合金元素 Mg 和 Li,因而激光深熔焊接阈值相应降低。

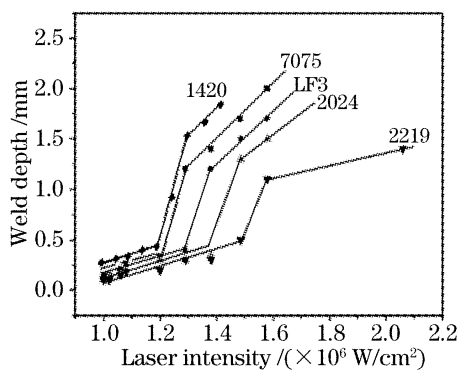


图1 几种铝合金 YAG 激光深熔焊接阈值对比
Fig.1 Weld depth vs intensity of aluminum alloys

3.2 焊接气孔

当激光功率为 2.2 kW,焊接速度为 3 m/min 时,典型对接焊缝成型如图2所示。对焊缝进行显微镜观察分析,没有发现焊接裂纹。但由图2可见,在焊缝中存在大小不一的球形气孔,其中最大的气孔直径约 0.2 mm,这些气孔大多靠近熔合线附近,特别是尺寸较大的气孔。这主要是由于 1420 铝锂合金富含 Mg 和 Li 等化学活泼性很强的元素,板材在高温加工时形成表面层。表面层中的 Li_2O , LiOH , Li_2CO_3 , Li_3N 和 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 等化合物极易吸附周围环境中的

水分,焊接时导致氢进入熔池。常规铝合金表面氧化层通常在微米量级,而铝锂合金表面层的厚度则超过 0.1 mm^[10]。有文献介绍铝锂合金氩弧焊接时,采用化学腐蚀或机械铣的方法,将单边至少去除 0.2~0.3 mm,才能较好地解决气孔问题^[11]。本文实验前虽然采取了与常规铝合金激光焊接相同的化学腐蚀工艺,但由于腐蚀时间短,不可能完全清除表面层。化学腐蚀后对试样厚度进行测量,结果表明厚度并没有明显变化。因此,可以认为,1420 铝锂合金激光焊接中的气孔主要是由于试样表面层未能彻底清除而产生的氢气孔。

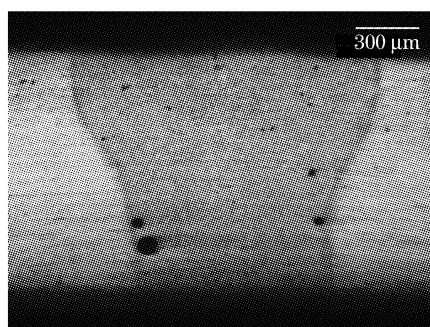


图2 焊缝成型及气孔形貌

Fig.2 Typical weld section and pore pattern

至于气孔为何主要集中在熔合线附近,可能是由两方面的原因造成的。1)氢在液态铝中的溶解度是固态中的 20 倍以上,因此焊接时,母材中的氢将向焊接熔池扩散。但是,由于激光焊接加热冷却速度极快,氢的扩散距离有限,从而在熔合线附近出现氢的富集。文献[12]建立了一个物理数学模型,从理论上分析计算出铝合金激光焊接熔池中存在氢的富集现象。2)熔池靠近母材的区域温度低,铝锂合金中原有的 Al_3Zr 等弥散质点来不及溶解和熔化,这些 Al_3Zr 等质点为氢气泡形核创造了有利的条件。与此同时,熔合线区域熔池结晶的线速度小,气泡形核后也具有长大的有利条件。

3.3 接头拉伸性能

对焊接试样进行拉伸实验,结果如表1所示。可见,在本文实验条件下,1420 铝锂合金激光焊接,焊态下接头屈服强度和母材的屈服强度基本相当,拉伸强度达到了母材的 74.6%,伸长率则由母材的 15.8% 下降到 3.1%。拉伸实验结果同时显示,焊接试样的断裂通常发生在焊缝紧邻熔合线的部位,如图3所示。对断口进行扫描电镜观察,发现在断裂面上存在大量的气孔,如图4所示。可见,1420 铝锂合金激光焊接,焊缝紧邻熔合线处是接头最薄弱部位,其拉伸强度的降低一方面固然是由于焊缝的时效不足,另一

方面则是气孔的存在,减少了有效承载横截面积。因此,设法消除焊接气孔将是提高焊态下 1420 铝锂合金激光焊接接头强度的有效途径之一。

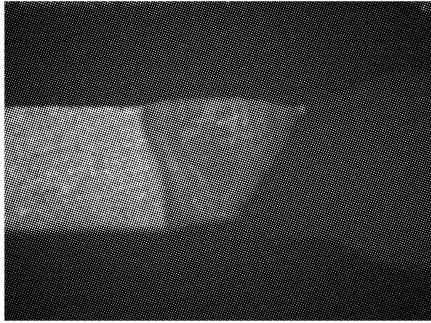


图 3 焊接接头典型断裂形式

Fig. 3 Typical fracture location of welding joints

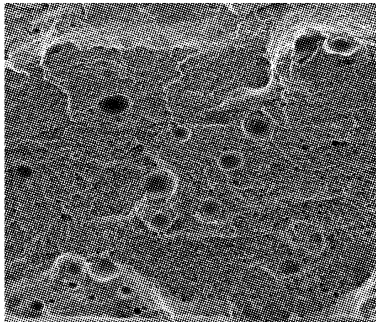


图 4 断口电子扫描电镜照片

Fig. 4 SEM photo of the fracture

表 1 1420 铝锂合金 YAG 激光焊接试样拉伸实验结果

Table 1 Tensile test results

	Base metal	Joint	Strength coefficient
Yield strength $\sigma_{0.2}$ / MPa	221.5	208.3	94.1%
Tensile strength σ_b / MPa	403.1	301.0	74.6%
Elongation	15.8%	3.1%	—

4 结 论

1) 1420 铝锂合金具有较好的激光焊接性,深熔焊接的功率密度阈值较常规铝合金低,且裂纹敏感度不高。

2) 氢气孔是主要的焊接缺陷,大多数集中在靠近熔合线的部位。

3) 焊接接头存在明显的软化现象,焊缝靠近熔合线的地方是焊接接头最薄弱的部位。

参 考 文 献

- 1 Ren Jialie, WU Aiping. Joining of Advanced Materials [M]. Beijing: Press of Mechanical Industry, 2000. 39~46
任家烈, 吴爱萍. 先进材料的连接 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000. 39~46
- 2 J. R. Pickens. Review: Recent developments in the weldability of lithium containing aluminum alloys [J]. *J. Materials Science*, 1990, **25**(7): 3035~3047
- 3 Xiao Rongshi, Chen Kai, Zuo Tiechuan. Development of laser beam welding of high strength aluminum alloys [J]. *Applied Laser*, 2002, **22**(2): 206~208
肖荣诗, 陈 铠, 左铁钊. 高强铝合金激光焊接新进展 [J]. *应用激光*, 2002, **22**(2): 206~208
- 4 Zuo Tiechuan. Laser materials Processing of High Strength Aluminum alloys [M]. Beijing: Press of Defense Industry, 2002. 1~4
左铁钊. 高强铝合金的激光加工 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002. 1~4
- 5 I. R. Whitaker, D. G. McCartney, N. Calder *et al.*. Microstructural characterization of CO₂ laser welds in the Al-Li based alloy 8090 [J]. *J. Materials Science*, 1993, **28**(20): 5469~5478
- 6 I. R. Whitaker, D. G. McCartney. Fracture of bead-on-plate CO₂ laser welds in the Al-Li alloy 8090 [J]. *Scripta Metallurgica et Materialia*, 1994, **31**(12): 1717~1722
- 7 P. A. Molian, T. S. Srivatsan. Weldability of aluminium-lithium alloy 2090 using laser welding [J]. *J. Materials Science*, 1990, **25**(7): 3347~3358
- 8 M. F. Lee, J. C. Huang, N. J. Ho. Microstructural and mechanical characterization of laser-beam welding of a 8090 Al-Li thin sheet [J]. *J. Materials Science*, 1996, **31**(6): 1455~1468
- 9 A. Twardowska, Jan P. Kusinski. Laser welding of Al-Li-Mg-Zr alloy [C]. *SPIE*, 2000, **4238**: 180~185
- 10 J. L. Canaby, F. Blazy, J. F. Fries *et al.*. Effects of high temperature surface reactions of aluminium-lithium alloy on the porosity of welded areas [J]. *Materials Science & Engineering*, 1991, **A136**: 131~139
- 11 M. B. D. Ellis. Fusion welding of aluminum-lithium alloys [J]. *Welding and Metal Fabrication*, 1996, **64**(2): 55~60
- 12 M. Vicaneck, T. J. Collar, G. Simon. Hydrogen enrichment in laser beam welding of aluminium [J]. *J. Physics D: Applied Physics*, 1994, **27**(11): 2284~2290