



超薄铝合金光纤激光焊接研究

吴晓红

(武汉职业技术学院 电子信息工程学院,湖北 武汉 430074)

摘要:针对超薄铝合金箔片(0.18mm)进行了光纤激光高速焊接试验研究,分析了影响光纤激光焊接效果的主要因素。通过对铝合金光纤激光焊接特性的分析,得出焊接头的准直镜与聚焦镜的焦距等对焊接接头形貌有着重要的影响的结论。在适宜的焊接工艺参数下,光纤激光焊接接头上、下表面焊缝形貌平整连续,焊缝一致性良好,拉力足够。

关键词:铝合金箔片;光纤激光器;搭接焊;工艺参数

中图分类号: TG456.7

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2013) 05-0054-03

一、引言

铝及铝合金具有重量轻、延展率高、易成形、抗腐蚀、再生性好等一系列优点,在国防经济建设中得到广泛应用,特别在航空航天、汽车等领域有很好的应用前景。铝及铝合金对激光的初反射率高,导致焊接过程不稳定,同时,光致等离子体对激光束的屏蔽作用,会使焊接过程无法进行,有时焊接过程中会产生气孔、裂纹、甚至接头机械性能降低。常采用常规的氩弧焊(TIG)和惰性气体熔化级电弧(MIG)方法焊接铝合金,但是这两种焊接方式在焊接完成后容易产生气孔、焊接裂纹以及焊接变形大等问题,制约了其在工业中的应用推广^[1-2]。电阻焊接在焊接时容易产生电极失效、点焊质量不稳定等困难,而且电阻焊接在与工件接触时容易对薄的工件产生形变。

激光焊接速度快、焊缝窄、热应变小、非接触作用、稳定性好等特点,使得铝合金激光焊接技术得到了广泛应用,特别是在汽车制造业以及航空航天制造业的应用尤其广泛^[3-4]。

光纤激光是近几年发展起来的先进技术,光纤

激光器比起传统 CO₂ 激光器,具有质量轻,光束好,能量转换高,维护简单等优点。本文主要采用光纤激光器对厚度为 0.18mm 的超薄铝合金箔片进行激光搭接焊研究,分析铝合金的光纤激光焊接特性及其主要影响因素,以控制和优化铝合金光纤激光焊接工艺。

二、试验条件和方法

试验材料为铝合金 1100,其化学成分见表 1。1100 铝合金的主要合金元素为硅和铁,抗拉强度 σ_b (MPa):70-100。其具有良好的成形加工性能、抗腐蚀性好、焊接性能优越等特点。铝箔厚度为 0.18mm,板料长度无限长,宽度为 12mm,用自动包卷机包卷成直径为 3mm 的圆筒,使得铝箔搭接处的重合宽度为 2mm 以上。试验采用激光器为美国 IPG 公司生产的 500 瓦多模光纤激光器(YLR-500-MM-WC-TR-Y11,激光器最大输出功率为 500W,连续输出,波长为 1070nm,模式为 TEM₀₀)。采用武汉华工激光工程有限责任公司设计制造的焊接头,如图 1 所示。

焊接过程中,由于铝合金初始表面对激光的反

收稿日期:2013-09-14

作者简介:吴晓红(1967-),女,湖北松滋人,武汉职业技术学院电子信息工程学院副教授,研究方向:激光的应用技术研究。

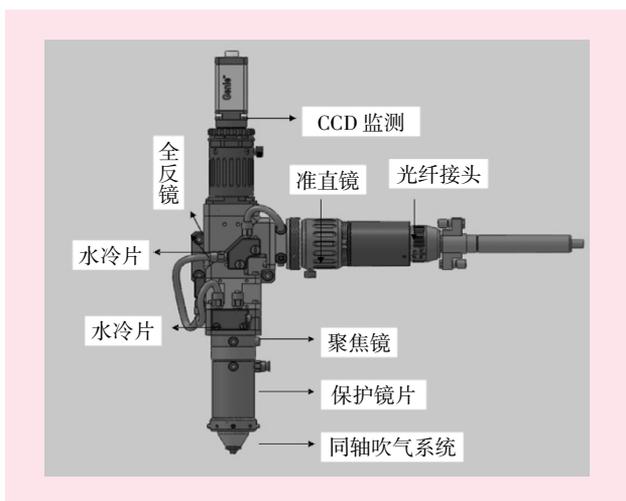


图1 光纤激光焊接头示意图

表1 1100 铝合金的化学成份(%)

牌号	Si+Fe	Cu	Mn	Zn	Al
1100	0.95	0.05-0.4	0.05	0.1	99

射率很高,为防止激光器受损,将焊接头倾斜 25°。

三、试验结果分析

(一)激光功率的影响

在所有铝合金的激光焊接中都发现存在一个激光能量密度阈值,低于此值,熔深很浅,一旦达到或超过此值,熔深会大幅度提高^[5]。激光功率对焊缝的影响非常关键,功率过大,则容易使焊缝增宽,焊缝表面由于硅等材料的极度气化而形成大量的气孔、飞溅,从而影响焊接效果。激光功率过小,无法达到铝合金的则出现不能焊透材料的现象,焊缝拉力也不够。

本试验在保持离焦量不变(焦点处)、速度不变(100mm/s)的情况下进行测试,功率百分比从 20%逐步增加到 60%,每次增加 5%。试验发现功率在 40%以下,上下两层材料无法焊接在一起;功率为 45%的时候,上下两层可以焊接在一起,但是抗拉强度不够。功率达到 60%的时候,上面铝箔已经烧穿,这是由于能量过大,而上面的铝材本来就薄,而发生“过烧”现象。只有功率在 50%到 55%之间的时候,即可以保证足够的焊缝质量又可以得到比较好的外观。进一步细微调节激光的功率百分比,发现功率变化 4%(20 瓦)左右,才对焊接效果有明显的影。而此试验选用的激光器的功率稳定性在 0.5%以内,因此焊接效果相对非常稳定。

(二)焊接速度的影响

在激光功率(50%)、离焦量(焦点处)等参数一定的情况下对铝合金箔进行穿透焊接,焊接速度从 40mm/s 逐步增加到 100mm/s,每次增加 10mm/s。当焊接速度在 40mm/s 到 60mm/s 的时候,上面一层铝

片被烧穿,焊缝被破坏,这是因为速度慢了,单位时间单位面积上激光的输入功率越大,并且热量的累积也越多,导致“过烧”,此时需要适当的减小激光的功率密度,即降低激光的功率百分比来实现好的焊接效果。而速度在 65mm/s 到 80mm/s 的时候,焊缝宽度约为 0.7-1.0mm,而且熔深也刚好穿透上面一层铝材,并且将下层铝材熔化 0.1mm 的深度,焊缝的外观美观,抗剪切力足够。当速度在 85mm/s 到 100mm/s 的时候,激光刚好穿透上面一层铝箔,没有和下面一层铝箔形成熔池,导致没有抗剪切力或者剪切力很小。这是因为焊接速度越快,热量的累积不够,铝合金的表面对激光的吸收率降低,无法达到铝材熔化的阈值,从而达不到焊接的效果。此时,需要适当的增加激光的功率密度,即增加激光的功率百分比。一般情况下,激光的功率应该随着焊接速度的增加而增加,随着焊接速度的降低而减小。

(三)聚焦系统的影响

由于是在工厂生产的流水线上做的试验,流水线的速度变化范围是固定的,当流水线的速度为 100mm/s 时,采用的聚焦镜焦距为 150mm,准直镜焦距为 150mm。当激光的功率(283W),离焦量(0.3mm)时,可以得到焊接外观、以及焊缝强度都很好焊接效果,此时的焊缝的宽度为 0.70mm。当流水线的速度为 40mm/s 时,采用同样的准直、焦距系统,通过调节激光的功率百分比以及离焦量,仍然无法得到好的焊接效果,最小的焊缝宽度为 1.20mm,如图 2(a)。这是因为焊接速度降低以后,单位面积上热量的累积太多,热影响范围较大,导致焊缝宽度太大,同时产生的气孔以及其他缺陷也迅速增多。在通过调节工艺参数无法达到工艺效果的时候,需要对外光路进行一些优化设计,使得最终达到好的焊接效果。

焊缝宽度与聚焦光斑存在一定的关系,在其他因素不变的情况下,聚焦光斑越小,得到的焊缝宽度也越窄,反之亦然。聚焦光斑直径由下式计算^[5]:

$$d_f = \frac{4\lambda f}{\pi K D}$$

式中 d_f 为聚焦光斑直径; f 为聚焦透镜焦距; D 为聚焦镜处光束直径; λ 为激光波长; K 为光束质量因子,在 0~1 之间取值。在其他因素不变的情况下,缩小聚焦透镜焦距 f ,可以得到更小的聚焦光斑。本试验采用武汉华工激光工程有限责任公司设计制造的焊接头,准直、聚焦镜的焦距可以根据需要任意更换,达到焊接工艺的需求,由于聚焦镜焦距为 150mm 时,聚焦光斑较大,因此焊缝宽度较大,因此将聚焦镜换成焦距 125mm,而当聚焦镜的焦距变短时,激光的焦深相对变短,即焊接效果对离焦量的变化很敏感。因此将准直镜焦距从 100mm 增加到 125mm。这样,在达到了降低焊缝宽度得到良好的焊接效果的

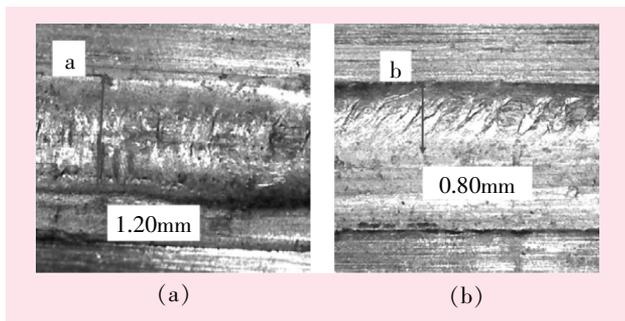


图2 焊缝宽度

注：图2(a)聚焦镜焦距为 $f=150\text{mm}$ ，焊接速度为 40mm/s 时的焊缝宽度；图2(b)聚焦镜焦距为 $f=100\text{mm}$ ，焊接速度为 40mm/s 时的焊缝宽度。

同时，又能够使得在调试过程中不是很困难，并且保证了生产的可行性与稳定性。在焊接速度变为 40mm/s 时，采用的聚焦镜焦距 f 为 125mm ，准直镜焦距 f 为 125mm 的焊接头系统，通过进一步调节激光的功率，离焦量等工艺参数，而此时的激光功率百分比和离焦量需要微调以及联动调节，当离焦量为0(焦点位置时)时，焊接不稳定，因为在实际生产过程中工件有上下细微的跳动，因此需要有一定的离焦量，而离焦量为负离焦(即焦点在工件的下方)，容易将上下两层铝箔同时击穿，并且焊缝仍然很大。最终选用正离焦(即焦点在工件的上方)，此时的焊缝宽度相对负离焦要小，而且下层的铝箔也不会被击穿。这是因为负离焦时，下层材料离焦点位置最近，即下层材料处的激光功率密度最高，所以激光可以穿透很深。而正离焦时，大部分激光被上层材料的表面所吸收，而到达下层材料时能量密度很弱，对下层材料的作用有限，下层材料的熔化完全是靠上层材料熔化的热量来熔化。将离焦量微调到 0.2mm (正离

焦)，再微调激光的功率，当激光功率密度为 51% (253W)时，可以得到焊接外观、以及焊缝强度都很好焊接效果，此时的焊缝的宽度为 0.80mm ，如图2(b)。

四、结论

采用光纤激光对超薄铝合金箔片(0.18mm)进行了高速焊接，通过研究发现激光功率以及焊接速度对焊接效果起到很大作用。当焊接速度减小到一定程度时(小于等于 40mm/s)，必须通过更换焦距更短的聚焦镜($f=125\text{mm}$)，并且各个工艺参数(激光的功率 $W=253\text{W}$ ，离焦量 $d=0.2\text{mm}$)配合得比较好的情况下，才能得到好的焊接效果。

参考文献：

- [1] Li Liqun, Chen Yanbin, Tao Wang. Research on dual-beam welding characteristics of aluminum alloy[J]. Chinese J. Lasers, 2008, 35(11): 1783-1788.
- [2] 李俐群, 陈彦宾, 陶汪. 铝合金双光束焊接特性研究[J]. 中国激光, 2008, 35(11): 1783-1788.
- [3] Zuo Dungi, Li Fang, Hua Xueming et al. New welding technology of aluminium alloy in auto industry [J]. Electric Welding Machine, 2007, 37(7): 1-5.
- [4] Hecht J. Solid-State High-Energy Laser Weapons [J]. Optics & Photonics News, 2003, (1): 58-61.
- [5] 李晓娜, 许先果, 边美华. 激光焊接在汽车工业中的应用[J]. 电焊机, 2006, 36(4): 47-49.
- [6] 周万盛, 姚军山. 铝及铝合金的焊接[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.

[责任编辑：刘 骋]

Study on Fiber Laser Welding of Ultrathin-Aluminum Alloy

WU Xiao-hong

(School of Electronic Information Engineering, Wuhan Polytechnic, Wuhan430074, China)

Abstract: Experimental study on fiber laser high-speed welding of Ultrathin aluminum alloy foil (0.18mm) is carried out, and the main influencing factors on fiber laser welding are analyzed. Through analyzing fiber laser welding performance of superthin-aluminum alloy foil, it is concluded that the focal length of the focusing lens has great influence on the morphology of welding joint. Under the proper welding condition, the weld topography of top surface and bottom surface are even and continuous. They are of high quality and conformability and enough tensile strength.

Key words: aluminum alloy foil; Fiber Laser; overlap-welding; parameters