

单一氟化物对钛合金激光焊的影响

许爱平, 董俊慧, 甄甄杨, 张艺程

(内蒙古工业大学, 呼和浩特 010051)

摘要: 对 TC4 钛合金选取单一氟化物 NaF, Na_2SiF_6 , YbF_3 为活性剂进行活性焊接试验, 采用 5 mm 单激光焊试验分析其对焊缝熔深、熔宽及等离子形态分析。试验结果表明, 单激光焊试验中所选活性剂对焊缝熔宽和熔深影响各不相同, 但均能减小熔宽和增加熔深, 其中 YbF_3 效果最好; 涂敷活性剂之后有效地降低了焊接等离子体的电子密度。

关键词: TC4 钛合金; 激光焊; 活性剂; 等离子形态

中图分类号: TG456.7

0 前言

20 世纪 60 年代, 乌克兰巴顿焊接研究所首次提出了 A-TIG 焊, 即活性剂焊接技术^[1-3]。20 世纪 90 年代后, 活性焊接技术逐渐引起人们的广泛关注, 活性剂可以提高母材对激光的吸收能力, 因此可以增加焊接热输入。活性剂也可以抑制等离子体的产生。相比于传统焊接, 活性激光焊可以增加熔深的同时减小熔宽^[4-5]。

TC4 钛合金具有密度小、比强度高及优异的综合力学性能等, 已被广泛应用于航空航天、汽车、冶金、化工等领域^[6-8]。但是激光焊对于钛合金存在反射率大、能力损失问题、熔深不足等问题。于是有人有学者借鉴 A-TIG 焊, 将活性剂用于激光焊^[9-11]。

1 试验材料及方法

在焊接试验中, 使用 5 mm 厚 TC4 钛合金, 加工母材尺寸为 90 mm × 30 mm × 5 mm, 对焊接试样进行单道激光焊。选取单一氟化物 NaF, Na_2SiF_6 , YbF_3 并取适量的丙酮溶液, 使两者均匀混合调制成糊状, 然后利用扁平毛刷将配制好的活性剂涂覆在待焊试件表面。

2 试验结果与讨论

2.1 激光焊试验

激光焊试验的焊接工艺参数为焊接功率 2 900 W、焊接速度 0.05 mm/min、离焦量 0 mm、保护气流量 15 L/min, 图 1 为活性剂涂覆及无活性剂的熔宽和熔深图。从图 1 中可看出与没有活性剂相比较, 所涂覆活

性剂均能降低熔宽和增加熔深, 其中涂覆 YbF_3 活性剂深效果最好, 降低熔宽 16.1%, 增加熔深 13.9%; 其次涂覆 NaF 和 Na_2SiF_6 活性剂, 分别使焊缝熔宽降低 11.2% 和 13.6%; 增加焊缝熔深为 8.87% 和 11.2%。

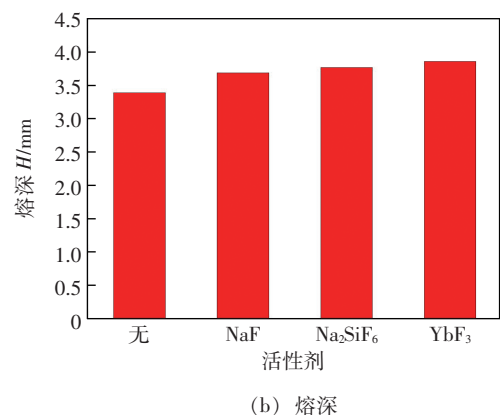
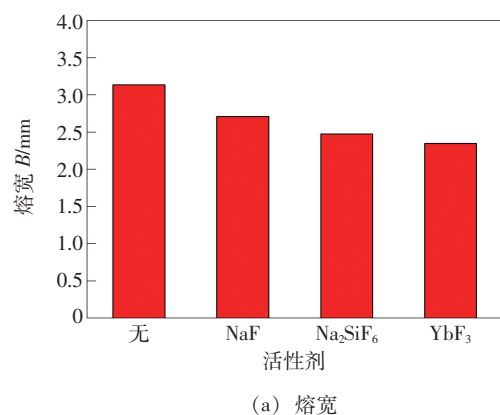


图 1 无活性剂及涂敷活性剂的熔宽和熔深

2.2 焊接速度的影响

图 2 是在焊接功率为 2 900 W 下, 不同焊接速度对焊缝熔深和熔宽的影响。在试验条件下焊缝熔宽和熔深随焊接速度的增大而不断下降。与未涂活性剂焊缝

相比,涂敷3种不同活性剂后的熔深和熔宽变化趋势相同,随着焊接速度增大,涂覆 NaF, Na_2SiF_6 , YbF_3 活性剂的焊缝熔宽分别是下降了 0.3%, 4.2%, 10.4%; NaF, Na_2SiF_6 , YbF_3 熔深分别下降 1.2%, 5.1%, 0.8%。热输入是影响钛合金激光焊熔深的主要因素,随着焊接速度增大而热输入减小,焊缝熔宽和熔深随之减小。其次活性剂可能是通过影响熔池流动而增加焊缝熔深的,所以焊接速度增大时,减弱了活性剂对熔池的流动的作用效果,使其在高速条件下的作用效果变得有限。所以降低焊速增大焊接热输入,提高熔池温度及延长熔池结晶时间对熔深的增大是有益的。

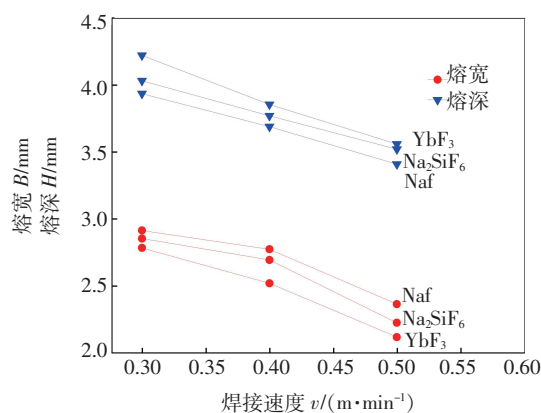


图2 焊接速度对熔宽和熔深的影响

2.3 焊接功率的影响

图3是焊接速度为 0.05 m/min, 焊接功率的变化对焊缝熔宽和熔深的影响规律。涂敷3种不同活性剂后的熔深和熔宽变化趋势相同,3种活性剂的熔宽和熔深都随焊接功率的增大而增大,其中涂敷 YbF_3 活性剂熔宽增加最少由 3.2% 增加到 3.6%, 而熔深增加最多由 1.2% 增加到 3.2%, 这是因为热输入增加导致活性剂分解或表面张力改变,从而增大焊缝熔深。

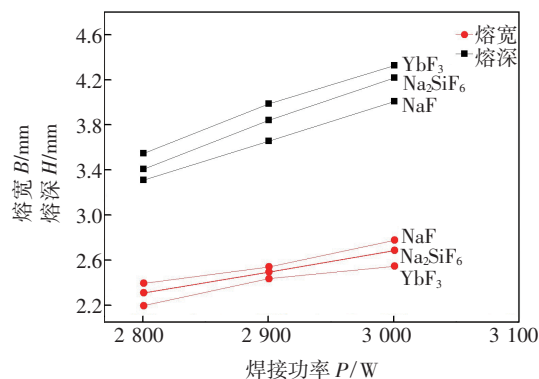
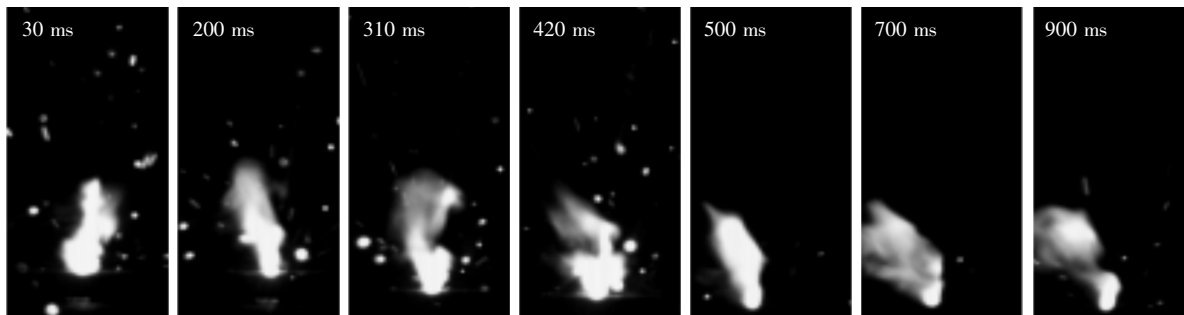


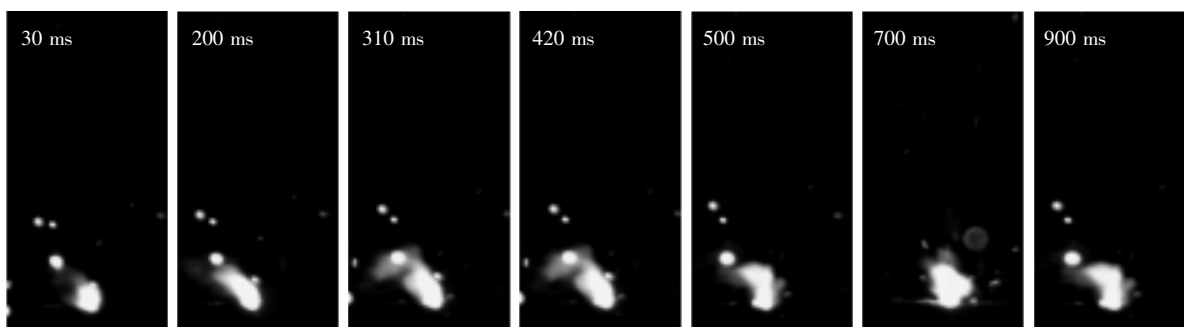
图3 焊接功率对熔宽和熔深的影响

2.4 光致等离子分析

选取3种活性剂中 YbF_3 观察焊接过程中等离子形态,如图4所示。图4a中,对于没有涂活性剂的试样,孔外金属蒸汽的形成和喷射更加剧烈金属蒸汽以更大



(a) 无活性剂等离子形态



(b) 氟化物活性剂等离子形态

图4 焊接过程中等离子形态

的强度和里程垂直向上发射。随属蒸汽的形成和发射也相应减弱。直到等离子体从内部重新出现和重新喷射,金属蒸汽才以急剧变化的形状和发射方向重新出现。图4b中,可以清楚地看出,涂覆有活性剂的试样的孔外金属蒸汽和等离子体在焊接过程中也呈现周期性变化。不同之处在于金属蒸汽发射明显减弱,等离子体喷射高度降低。这是因为在激光焊接过程中,由于光诱导等离子体中自由电子的吸附,活性原子转化为带负电的粒子。由于负粒子的质量很大,它们的移动速度比自由电子慢,自由电子在等离子体边缘附近摇摆。最终,一部分负粒子成为自由电子的运动背景,而另一些则消失在大气中,从而有效地降低了焊接等离子体的电子密度。这在一定程度上削弱和抑制了等离子体的产生和剧烈波动,从而提高了熔池的稳定。

3 结论

(1) 5 mm 激光焊焊试验所选活性剂都可增加焊缝熔深和降低熔宽,涂覆 YbF_3 活性剂深效果最好,降低熔宽 16.1%;增加熔深 13.9%,其次涂覆 NaF 和 Na_2SiF_6 活性剂,分别使焊缝熔宽降低 11.2% 和 13.6%;增加焊缝熔深为 8.87% 和 11.2%。

(2) 在不同焊接工艺参数下,各活性剂对焊缝熔深及熔宽的影响不同。在其他焊接工艺参数不变的情况下,3 种活性剂焊缝熔深和熔宽均随着焊接速度的增大而减少,熔深和熔宽随焊接功率的增大而增大。

(3) 涂敷活性剂之后,活性剂有效的降低了焊接等离子体的电子密度。

参考文献

- [1] 高晓刚,董俊慧,韩旭.不同氟化物对钛合金 A-TIG 焊接成形和组织影响[J].稀有金属材料与工程,2017,46(6):1638-1642.
- [2] 高晓刚,董俊慧,韩旭,等.氟化物 A-TIG 焊接 Ti6Al4V

的电弧行为[J].焊接学报,2017,38(10):6-10.

- [3] 张聘,尹玉环,孙耀华,等.2A14 铝合金直流 A-TIG 焊接技术[J].焊接学报,2018,39(10):93-97.
- [4] 侯继军,董俊慧,韩旭,等. Na_2SiF_6 活性激光焊接 TC4 钛合金焊缝成形和组织[J].焊接学报,2019,40(10):67-72.
- [5] 张成禹,戴鸿滨.H13 模具钢低功率活性激光焊[J].焊接,2017(1):46-49.
- [6] 陈建岭,李剑峰,孙杰,等.钛合金铣削加工表面残余应力研究[J].机械强度,2010,32(1):53-57.
- [7] 张卫方,高威,赵爱国,等.钛合金断口反推疲劳应力的实验与工程应用研究[J].机械强度,2003,25(4):436-440.
- [8] 王振,余洛生,陈龙,等.基于电子束焊接的 TC4 钛合金叶片焊缝表面强化研究[J].机械强度,2020,42(4):925-930.
- [9] Qin G L, Wang G G, Zou Z D. Effect of activating-flux on CO_2 laser welding process of 6013 Al alloy [J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2012, 22(1): 23-29.
- [10] Kuo M, Sun Z, Pan D. Laser welding with activating flux [J]. Science and Technology of welding and Joining, 2001, 6(1): 17-22.
- [11] Fan D, Zhang R H, Nakata K, et al. YAG laser welding with surface activating flux [J]. China Welding, 2003, 12(2): 83-86.

第一作者简介: 许爱平,1992 年出生,硕士研究生;主要从事钛合金活性激光焊方面研究工作。

通信作者简介: 董俊慧,1961 年出生,博士,教授,博士生导师;主要从事焊接结构强度与断裂、焊接应力与变形数值模拟、模糊神经网络技术在焊接中的应用、金属材料的碱腐蚀与防护、抗碱腐蚀新型稀土合金材料的研制、金属模具的激光快速成型与陶瓷型精密铸造等方向的研究。

(编辑:王龙权)

[上接第 23 页]

- [13] Wang H H, Tong Z, Wang J, et al. Study of Nb non-equilibrium segregation at prior austenite grain boundary in welding using atom probe tomography and modeling [J]. Journal of Materials Science, 2019, 54(16): 11320-11327.
- [14] Wang H H, Wang J, Tong Z, et al. Characterization of niobium segregation during welding thermal cycle in microalloyed steel by atom probe tomography [J]. Metallurgy and Materials Transaction A, 2018, 49(12): 6224-6230.

第一作者简介: 陈林恒,1983 年出生,博士,高级工程师;主要从事先进钢铁材料的研发及工艺改进的研究;已发表论文 20 余篇。

通信作者简介: 王红鸿,1967 年出生,博士,教授,博士生导师;主要从事于焊接冶金理论研究和教学工作、以及新型焊接材料的研发工作;已发表论文 80 余篇。

(编辑:王龙权)