

活性剂对不锈钢激光-TIG 电弧复合焊接的影响

Effect of Activating Flux on Stainless Steel Laser-TIG Hybrid Welding

西北工业大学材料学院 贾中振 刘金合 樊艳峰 罗晓娜

[摘要] 选用氧化物 TiO_2 、 Cr_2O_3 、 B_2O_3 、 SiO_2 和氟化物 CaF_2 为活性剂,研究了它们对激光-TIG 电弧复合焊接不锈钢的影响。结果表明, Cr_2O_3 和 B_2O_3 使焊缝更对称,而 TiO_2 、 SiO_2 和 CaF_2 则可消除焊缝的喇叭口收边, Cr_2O_3 可以增加焊缝熔深而 TiO_2 却使焊缝熔深减小。

关键词: 活性剂 激光复合焊 熔深

[ABSTRACT] Five kinds of activating fluxes including TiO_2 , Cr_2O_3 , B_2O_3 , SiO_2 and CaF_2 , are used to study their effects on stainless steel laser-TIG hybrid welding. The results show that Cr_2O_3 and B_2O_3 make the seams more symmetrical, and TiO_2 , SiO_2 and CaF_2 , could improve the seam morphology. Cr_2O_3 could deepen the seam. However, TiO_2 and SiO_2 could decrease the seam penetration.

Keywords: Activating flux Laser-TIG hybrid welding Penetration

活性焊接是施焊前将含有某些微量元素的活性剂涂覆在待焊工件表面上,然后进行焊接。这种焊接方法最先由巴顿焊接研究所的学者提出,并应用于 TIG 电弧焊接^[1]。激光复合焊接技术是将激光、电弧两种热源以一定形式组成复合热源从而实现焊接,这种焊接方法最先由英国帝国理工大学的 William M. Steen 提出^[2]。这 2 种焊接方法由于能够提高焊接效率、降低焊接成本、改善焊缝成形而受到了国内外学者的重视。

目前,都只是针对这 2 种焊接方法中的一种展开深入研究,有关将这 2 种焊接方法结合起来探讨活性剂对复合热源焊接效果影响的研究尚未见相关报道。本课题选择 TiO_2 、 Cr_2O_3 、 B_2O_3 、 SiO_2 和 CaF_2 作为试验用活性剂,研究在它们作用下,不锈钢的低功率激光-TIG 电弧复合焊接完成后,焊缝的宏观形貌和熔深。

1 试验材料和方法

试验选用热轧状态不锈钢 1Cr18Ni9Ti, 试件尺寸为 $225\text{mm} \times 25\text{mm} \times 8\text{mm}$ 。选择 TiO_2 、 Cr_2O_3 、 B_2O_3 、 SiO_2 和 CaF_2 为试验用活性剂。

焊前用砂纸打磨试件表面,以去掉氧化层。然后用

丙酮擦拭试件表面,以去掉试件表面的油污。活性剂用丙酮溶解,搅拌成糊状后,用毛刷将其均匀地涂覆到试件表面,涂覆程度以活性剂刚好覆盖金属表面光泽为宜。试件及涂覆示意图如图 1 所示。

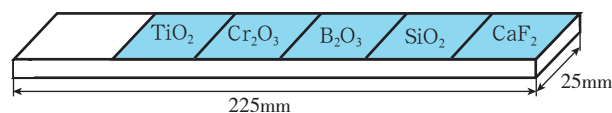


图1 试件及涂覆示意图

Fig.1 Diagram of specimen and activating flux coating

复合热源的焊接工艺参数由 2 种热源各自的工艺参数和 2 种热源之间的位置参数 2 部分组成。其中,2 热源的焊接工艺参数如表 1 和表 2 所示。2 热源的位置参数主要指 2 热源的相对位置、在工件上 2 热源之间的距离。本试验中,在工件表面激光到 TIG 电弧的距离为 3.8mm。沿焊接方向, TIG 电弧在前,激光在后。焊接的示意图如图 2 所示。

焊接完成后沿焊横截面切割取样,经粗磨、细磨、抛

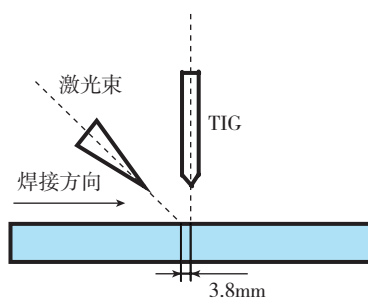


图2 激光-TIG电弧复合热源焊接示意图

Fig.2 Diagram of laser-TIG hybrid heat source welding

表1 TIG电弧工艺参数

电源接法	焊接电流 I / A	电弧长度 L / mm	氩气流量 $q / (\text{L} \cdot \text{min}^{-1})$
直流反接	190	5	15

表2 低功率激光工艺参数

脉冲频率 f / Hz	脉宽 t / s	离焦量 z / m	平均功率 P / W
10	5	0	300

光和腐蚀后,用 OLYMPUS PG3 金相显微镜照焊缝横截面宏观形貌。为方便测量,在照相时连同标尺一起照入。

2 试验结果和讨论

2.1 焊缝横截面宏观形貌

所得焊缝横截面宏观形貌如图 3 所示。图中 W 代表没有涂覆活性剂,从 A 到 E 依次代表涂覆了活性剂 TiO_2 、 Cr_2O_3 、 B_2O_3 、 SiO_2 和 CaF_2 。可以看出,在没有涂覆活性剂时,焊缝不对称,在焊缝上部一侧有喇叭口收边,焊缝底部呈球形。涂覆了活性剂 TiO_2 、 SiO_2 和 CaF_2 后,虽然焊缝仍然不对称,但是焊缝一侧的喇叭口收边消失了。涂覆活性剂 Cr_2O_3 和 B_2O_3 后,虽然喇叭口收边没有消失,但是焊缝的对称性明显改善。由此可见,5 种活性剂对焊缝形貌都有很大的影响,且活性剂种类不同,对焊缝形貌的影响也不相同。

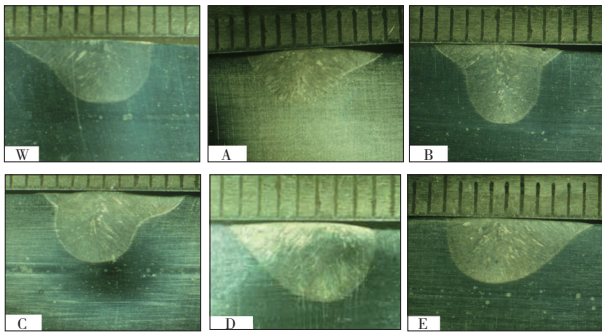


图3 焊缝横截面宏观照片

Fig.3 Macro-photograph of welding seam cross section

2.2 焊缝熔深、熔宽及深宽比

经过测量,得到的试样焊缝熔深见图 4。涂覆活性剂 Cr_2O_3 、 B_2O_3 和 CaF_2 后,焊缝熔深有了不同程度的增加。其中 Cr_2O_3 的效果最明显。经过计算,发现其可以使焊缝熔深增加 25%。而活性剂 TiO_2 和 SiO_2 却会使焊缝熔深减小。从试验结果可以看出,活性剂种类对不锈钢激光-TIG 电弧复合焊接熔深有非常大的影响。

当激光-TIG 电弧复合热源作用到工件表面时,首先与涂覆在工件表面的活性剂进行作用,同时在非常短的时间内使工件表面熔化形成熔池,活性剂则一部分受热蒸发,另一部分进入熔池和原熔池金属相互作用形成新的熔池金属。蒸发的活性剂会吸附电弧等离子体中的电子从而使电弧收缩,使其热量集中^[3]。活性剂中的活性元素可以改变熔池表面张力梯度的方向,从而使熔池金属的流动方向发生改变^[4]。活性剂与电弧和熔池金属的上述相互作用机理使得活性剂可以增加以电弧为热源的焊接方法的熔深。活性剂与激光间也存在着相互作用,有人认为蒸发的活性剂吸附激光等离子体中的自由电子,减小了等离子体对激光的折射、散射等负

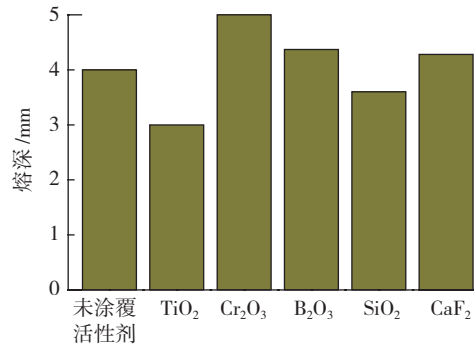


图4 不同活性剂作用下不锈钢复合焊的熔深

Fig.4 Welding penetration of stainless steel hybrid welding under different activating fluxes

效应,从而使激光利用率增加^[5]。也有人认为由于活性剂涂层具有的吸收性和良好的热导率,对激光作用初期具有十分重要的影响,从而使激光利用率增加^[6]。可见在此复杂的焊接系统中,包含了蒸发的活性剂与电弧的作用、激光与新形成的熔池金属的作用、激光与电弧的相互作用等不同的作用体系。

刘黎明等^[7]研究了活性剂对镁合金 TIG 电弧焊接熔深的影响。发现涂覆了活性剂后,焊缝熔深都有增加。通过分析焊缝中元素种类,他们发现 Cr_2O_3 和 TiO_2 氧化物活性剂与熔池金属之间的相互作用是焊缝熔深增加的主要原因。Li 等^[8]在分析了 TiO_2 和 SiO_2 对不锈钢 TIG 焊中电弧形貌和电弧电压的影响,发现 SiO_2 之所以增加焊缝熔深是因为其能够使电弧收缩,而 TiO_2 增加焊缝熔深的主要原因是其改变焊缝熔化金属流动方向。Paulo J. Modenesi 等^[9]研究了单一活性剂对不锈钢 TIG 的影响,对电弧形貌和电压的研究表明,涂覆活性剂 SiO_2 、 TiO_2 、 Cr_2O_3 和 CaF_2 后,电弧形貌并没有很大变化,同时电弧电压也没有很大的升高,同时发现 CaF_2 增加焊缝熔深的效果并不明显。本课题在研究了活性剂对不锈钢 TIG 焊的影响后,同样发现活性剂 SiO_2 、 TiO_2 、 Cr_2O_3 、 B_2O_3 和 CaF_2 均可以增加焊缝的熔深,而且涂覆活性剂后会使得电弧电压有不同程度的增加,但是增加幅度不是很大^[10]。孙昊等^[6]研究了活性剂对镁合金低功率激光焊接的影响,发现活性剂 SiO_2 和 TiO_2 能够增加焊缝熔深,但活性剂 CaF_2 使焊缝熔深减小。本课题研究了活性剂对不锈钢低功率激光焊的影响,发现活性剂 SiO_2 、 TiO_2 、 Cr_2O_3 、 B_2O_3 和 CaF_2 均可以增加焊缝熔深^[11]。

但是本课题的试验结果明显和上述研究结果不同。尤其是活性剂 TiO_2 和 SiO_2 ,不仅没有增加焊缝熔深,反而使焊缝熔深减小。这说明在复合焊接中,活性剂的作用机理和单激光、单电弧中的作用机理有了很大差别。究竟为什么会有这样的试验结果仍需进一步研究。同时可以看到,即使均为氧化物,其对激光-电弧复合焊

接熔深的影响也是不同的,甚至可以说没有统一。这必然与氧化物中的另一种元素的作用有关。综上所述,复合焊接中活性剂的作用机理非常复杂,是活性剂与激光、活性剂与电弧以及活性剂与焊缝金属间的相互作用共同作用的结果,甚至这些作用之间也存在相互影响。

经过测量得到焊缝熔宽见图5。涂覆活性剂后焊缝宽度有一定变化。活性剂 Cr_2O_3 、 TiO_2 会使焊缝宽度有所减小, B_2O_3 基本不影响焊缝熔宽,而 SiO_2 和 CaF_2 则使焊缝熔宽稍有增加。利用所测得的熔深和熔宽,计算了焊缝的深宽比,如图6所示。5种活性剂对焊缝深宽比的作用不同,其中 Cr_2O_3 和 B_2O_3 会使深宽比增加,其他3种活性剂则会使焊缝深宽比降低。

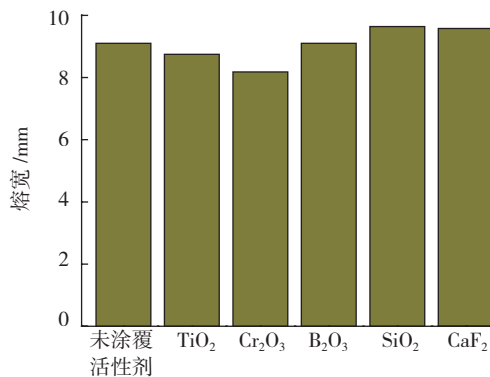


图5 不同活性剂作用下不锈钢复合焊的熔宽
Fig.5 Welding width of stainless steel hybrid welding under different activating fluxes

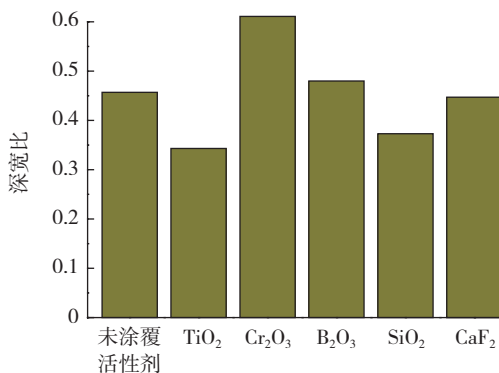


图6 不同活性剂作用下不锈钢复合焊的深宽比
Fig.6 Ratio of depth and width of stainless steel hybrid welding under different activating fluxes

3 结论

(1) 活性剂对不锈钢激光-电弧复合焊接焊缝形貌影响很大。其中, Cr_2O_3 和 B_2O_3 可使焊缝更加对称,而 SiO_2 、 TiO_2 和 CaF_2 则可以消除焊缝中的喇叭口收边。

(2) 活性剂对不锈钢低功率激光-电弧复合焊接的熔深有不同影响。 Cr_2O_3 可以使焊缝熔深有明显增加, B_2O_3 和 CaF_2 则可以使熔深有所增加,而 TiO_2 和 SiO_2 则

使焊缝熔深减小。

(3) 活性剂对激光-电弧复合焊接熔深的影响机理与其对激光、电弧分别单独作用时的机理不同。

参考文献

- [1] 袁玉兰,王惜宝,吴顺生,等.活性剂在焊接中的应用及展望.材料导报,2005,19(8):66-75.
- [2] Steen W M. Arc augmented laser processing of materials. Journal of Applied Physics, 1980, 51(11): 5636-5641.
- [3] Heiple C R, Roper J R. Mechanism for minor element effect on TIG fusion zone geometry. Welding Journal, 1982, 61(4): 97-102.
- [4] Takeuchi Y, Takagi R, Shinoda T. Effect of Bismuth on weld joint penetration in austenitic stainless steel. Welding Journal, 1992, 71(8): 283-289.
- [5] 马立彩,刘金合,谢耀征,等.激光焊活性影响等离子体的初步研究.电焊机,2005,35(7):35-38.
- [6] 孙昊,张兆栋,刘黎明.镁合金的低功率激光活性焊.焊接学报,2007,28(4):49-52.
- [7] 刘黎明,张兆栋,沈勇,等.活性剂对镁合金 TIG 焊接熔深的影响.金属学报,2006,42(4):399-404.
- [8] Li Q M, Wang X H, Zou Z D, et al. Effect of activating flux on arc shape and arc voltage in tungsten inert gas welding. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(3): 486-490.
- [9] Modenesi P J, Apolinário E R, Pereira I M. TIG welding with single-component fluxes. Journal of Materials Processing Technology, 2000, 99(1-3): 260-265.
- [10] 樊艳峰,刘金合,罗晓娜.活性剂对不锈钢 TIG 焊影响的研究.热加工工艺,2008,37(19):98-100.
- [11] 樊艳峰,刘金合,罗晓娜,等.活性剂对低功率脉冲激光焊接不锈钢的影响.热加工工艺,2008,37(23):78-80.

(责编 良辰)

(上接第76页)

- [5] 韩明臣.防弹性能优良的低成本钛合金.稀有金属快报,2006,25(7):40.
- [6] 吴引江,段庆文,周廉,等.汽车用低成本钛合金及其制品的研究进展.新材料产业,2003(2):11-15.
- [7] Ouchi C. Proceedings of the 1st International Symposium on Metallurgy and Technology of Practical Titanium Alloys. 1993.
- [8] Brewer W D, Bird R K, Wallace T A. Titanium alloys and processing for high speed aircraft. Materials Science & Engineering A, 1998, A243(1-2): 299-304.
- [9] Philippart I, Rack H J. High temperature dynamic yielding in metastable Ti-6.8Mo-4.5Fe-1.5Al. Materials Science & Engineering A, 1998, A243(1-2):196-200.
- [10] Gunawarman B, Niinommi M, Akahori T, et al. Mechanical properties and microstructures of low cost β titanium alloys for healthcare applications. Materials Science and Engineering C, 2005, 25: 304-311.
- [11] 李梁,孙健科,孟祥军.钛合金的应用现状及发展前景.钛工业进展,2004,21(5):19-24.
- [12] 杨冠军,赵永庆,于振涛,等.钛合金研究,加工与应用的新进展.材料导报,2001,15(10):19-21.

(责编 泰山)