

区域。而 3 种实验用氧化物活性剂对焊缝表面成形都几乎没有影响,只是在涂敷 V_2O_5 的焊缝表面,黄色活性剂涂层和焊缝之间存在一个较宽的 VO_2 白色区域,它为 V_2O_5 在超过 943 K 的电弧高温作用下发生分解的产物。Te 对焊缝表面成形的影响很明显,焊缝宽度显著减小,余高明显增加,颜色变为深褐色,在无活性剂区和有活性剂区之间存在着扇形区域。

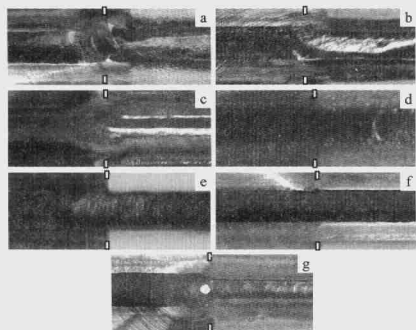


图1 焊缝表面

Fig.1 Weld surfaces: (a) CaF_2 , (b) ZnF_2 , (c) $MnCl_2$, (d) SiO_2 , (e) TiO_2 , (f) V_2O_5 , and (g) Te

2.2 对焊接熔深熔宽的影响

图 2 为焊缝横截面。可以看出,不同活性剂对焊缝熔深熔宽的影响是不同的。3 种卤化物都能使得熔深明显增加,尤其是 $MnCl_2$,可使熔深达到传统 TIG 焊的 2 倍以上。 CaF_2 和 ZnF_2 对熔宽影响不大,而 $MnCl_2$ 使得熔宽显著减小,只为传统 TIG 焊熔宽的 0.7。3 种卤化物还使得焊缝余高明显增加,达到 0.2 mm~0.3 mm。而 3 种氧化物对焊缝成形都没有明显影响。单质 Te 能明显增加熔深,达到传统 TIG 焊的 1.3 倍,熔宽明显减小,为传统 TIG 焊的 0.8,余高明显增加。

2.3 对焊接电压的影响

采用实验焊接规范进行焊接,在无活性剂区焊接电压为 10.5 V,而当涂敷了活性剂后,不同活性剂对焊接电压产生了不同的影响。3 种卤化物都使焊接电压升高,从小到大依次为 CaF_2 , ZnF_2 和 $MnCl_2$,其中 $MnCl_2$ 使得电压升高达到 1 V。而 3 种氧化物对焊接电压都几乎没有影响。Te 使得焊接电压下降 0.2 V。

3 讨论

以往关于钛合金 A-TIG 焊的研究认为,是电弧收缩导致熔池内和电弧内的 Lorentz 力增大使得熔深增

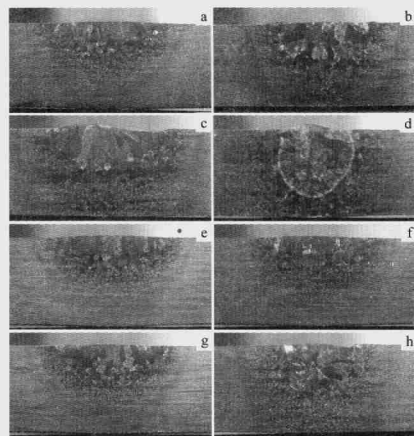


图2 焊缝横截面

Fig.2 Weld cross sections: (a) TIG, (b) CaF_2 , (c) ZnF_2 , (d) $MnCl_2$, (e) SiO_2 , (f) TiO_2 , (g) V_2O_5 , and (h) Te

加^[6]。从本实验结果来看,化合物,尤其是卤化物增加钛合金 A-TIG 焊的实验现象与电弧收缩理论所对应的实验现象非常吻合。在进行钛合金焊接时,由于钛合金具有熔点高、热容量大、电阻率高和热导率低等特点,焊接熔池和焊接电弧温度高,活性剂熔沸点和电阻率的差异对其熔化和蒸发过程的影响就较小。这也可从 SiO_2 虽然熔沸点和电阻率都很高,但并不能增加熔深这个事实得到说明。关于分解过程对电弧的影响,共价化合物比离子化合物具有更强的稳定性,解离时需要吸收更多的热量,但从实验事实来看, SiO_2 , TiO_2 和 V_2O_5 等并不比 CaF_2 , ZnF_2 和 $MnCl_2$ 具有增加熔深的能力,所以活性剂解离过程对电弧的影响也不是活性剂增加熔深的主要原因。由此看来,在钛合金 A-TIG 焊中,是活性剂粒子的电离和复合过程使得电弧收缩。在焊接电弧中,阳离子是电离产生的,而阴离子是中性粒子和电子复合产生的。活性剂粒子的电离过程发生在电弧中央的高温等离子区,它使得作为载流子的电子的数目增加,导电通道变宽,弧柱电压下降。而活性剂粒子与电子的复合过程则发生在弧柱外围,这里温度较低,粒子运动速度较慢,中性粒子容易捕获电子形成阴离子,从而减少了作为载流子的电子的数目,使得导电通道变窄,弧柱电压升高。活性剂粒子的电离和复合作为一对矛盾过程制约着导电通道的宽窄,也决定着电弧收缩的程度。从实验结果

来看, 卤化物增加熔深效果明显, 而氧化物对焊接熔深几乎没有影响, 这可能是因为卤族元素 Cl 和 F 的电子亲和能远远大于 O 元素, 所以卤族元素与氧元素相比更易于吸附电子, 使得电子数目减小, 导电通道变窄, 电弧收缩。而不同氧化物对熔深的影响几乎没有差别, 说明活性剂粒子与电子的复合过程对导电通道的影响要大于活性剂粒子的电离过程的影响。在卤化物中, 化合物中另一种元素的电离能的大小对导电通道也有明显影响。对于 CaF_2 和 ZnF_2 , Ca 的第一电离能和第二电离能都小于 Zn 的, 在电弧中 Ca 比 Zn 更易于电离, 所以 CaF_2 收缩导电通道的作用要小于 ZnF_2 , 采用 ZnF_2 作为表面活性剂增加熔深的作用要强于 CaF_2 。

关于单质对 A-TIG 焊熔深的影响, Heiple C R 和 Roper J R^[7]研究了活性元素 Se 对熔深的影响, 认为表面张力梯度改变是 Se 等活性元素增加 TIG 焊熔深的主要机理。根据本实验结果来看, 以单质 Te 作为表面活性剂也能增加 A-TIG 焊熔深。Te 作为单质, 不能通过分解过程吸热使得电弧收缩。Te 的熔点为 723 K, 沸点为 1282.4 K, 远远低于钛合金的熔沸点, 也远远低于熔池温度, 所以也不能通过限制金属蒸发来收缩阳极斑点。Te 为非金属元素, 其电子亲和能为 $190.14 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 远远小于卤族元素的电子亲和能, 但大于 O 的电子亲和能。如果是由于 Te 在电弧外围与电子复合而使得电弧收缩, 以此导致熔深增加, 由于导电通道变窄, 导电通道电阻增大, 电弧电压应该是升高的。但从实验结果来看, 焊接电压并没有升高, 反而是略

有下降。可以认为电弧收缩并不是 Te 增加钛合金 A-TIG 焊熔深的主要机理。表面张力梯度改变也可能是 Te 增加 TIG 焊熔深的主要机理, 这可能与 Te 原子半径较大有关, 当其偏聚于熔池表面时将减弱熔池表面粒子间的相互作用, 使得表面张力减小, 改变熔池表面张力梯度, 增加焊接熔深。有关机理还需要进一步研究。

4 结 论

1) CaF_2 , ZnF_2 和 MnCl_2 都能增加钛合金 A-TIG 焊熔深, 其中 MnCl_2 能显著增加熔深, 达到传统 TIG 焊的 2 倍以上。

2) SiO_2 , TiO_2 和 V_2O_5 对焊缝成形都没有明显影响。

3) Te 能明显增加焊接熔深, 达到传统 TIG 焊的 1.3 倍, 减小熔宽, 为传统 TIG 焊的 0.8。

参考文献 References

- [1] Qi Yunlian(戚运莲) *et al.* *Titanium Industry Progress*(钛工业进展)[J], 2004, 21(6): 25
- [2] Gurevich S M *et al.* *Automatic Welding*[J], 1965, 18(9): 1
- [3] Howse D S *et al.* *Science and Technology of Welding and Joining*[J], 2000, 5(3): 189
- [4] Tanaka M *et al.* *Science and Technology of Welding and Joining*[J], 2000, 5(6): 397
- [5] Simonik A G. *Welding Production*[J], 1974, 21(3): 81
- [6] Fan Ding *et al.* *Transactions of JWRI*[J], 2001, 30(1): 35
- [7] Heiple C R *et al.* *Welding Research Supplement*[J], 1981, (8): 143

Effect of Surface Activating Flux on Weld Penetration of A-TIG Welding for Titanium Alloy

Huang Yong^{1,2}, Fan Ding^{1,2}, Zhang Han^{1,2}

(1. State Key Lab. of Gansu Advanced Non-Ferrous Metal Materials, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

(2. Key Lab. of Non-Ferrous Metal Alloys, The Ministry of Education, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: A-TIG welding for titanium alloy was carried out to study effect of surface activating flux on welding penetration. Halides(CaF_2 , ZnF_2 and MnCl_2), Oxides(SiO_2 , TiO_2 and V_2O_5) and elemental Te were served as fluxes. It is found that the three kinds of experimental halides can improve welding penetration, especially the welding penetration for MnCl_2 reaches two times of that of conventional TIG welding. The three kinds of oxides have little effect on weld forming. Elemental Te can curiously increase welding penetration and decrease weld width. It is believed, arc constriction is the main mechanism of halides improving welding penetration of A-TIG welding for titanium alloy, but not for elemental Te.

Key words: titanium alloy; surface activating flux; A-TIG welding; welding penetration