

# 机械振动及电磁搅拌技术在 TIG 电弧熔覆陶瓷层中的应用

孙锐, 闫文青, 李建

(武汉科技大学 钢铁冶金及资源利用省部共建教育部重点实验室, 湖北 武汉 430081)

**摘要:**在 TIG 焊接过程中引入机械振动搅拌和电磁搅拌辅助焊接技术, 采用光学显微镜(OM)及扫描电镜(SEM)观察分析焊缝的微观组织, 利用 Ipp6.0 软件计算晶粒尺寸。结果表明, 在焊接过程中引入这两种辅助焊接技术均可以使焊缝组织均匀、晶粒细化的效果。

**关键词:**氩弧熔覆陶瓷层; 机械振动搅拌; 电磁搅拌; 细化晶粒

**中图分类号:** TG444

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1001-3814(2014)19-0211-02

## Application of Mechanical Vibration and Electromagnetic Stirring Technology in TIG Arc Cladding Ceramic Layer

SUN Rui, YAN Wenqing, LI Jian

(Key Laboratory for Ferrous Metallurgy and Resources Utilization of Ministry of Education, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081, China)

**Abstract:** The mechanical vibration and electromagnetic stirring auxiliary stir welding technology were introduced in TIG welding process. Optical microscope (OM) and scanning electron microscope (SEM) observation were used to observe the microstructure. Ipp6.0 software was used to calculate grain size. The results show that the microstructure is more homogeneous and the crystalline grain is more finer by using the two ways.

**Key words:** TIG arc cladding ceramic layer; mechanical vibration stirring; electromagnetic stirring; grain refinement

在 Tseng 等人<sup>[1]</sup>第一次深入研究了钨极气体保护电弧焊结合电磁搅拌技术对材料微观结构和性能的影响后, 很多学者先后将该技术应用于焊接过程, 并且有了一定的效果。机械振动和电磁搅拌辅助焊接技术可以细化晶粒, 改善焊缝成形以及减小焊接残余应力。振动焊接是指在焊接过程中同时对构件施加机械振动的焊接工艺。振动对焊接熔池的作用主要有三点: ①通过振动使处于熔融状态下的焊缝金属的组织发生变化, 细化晶粒, 提高焊缝的力学性能; ②振动使热应力梯度减小, 使焊后的焊接残余应力降低并均匀化; ③降低应力集中, 提高焊接质量。电磁搅拌技术在金属凝固过程中可以促进柱状晶向等轴晶转变, 改变柱状晶生长方向, 使组织得到有效地细化和均匀化。

### 1 试验方法

机械振动搅拌焊接工艺参数见表 1。振幅的设置: 通过调整电机转子偏心距, 选最大振幅位置(3 档)。把钛合金试板平放在振动装置的上面, 焊接的同时, 开启振动装置。电磁搅拌辅助焊接工艺参数见表 2。试验过程中将旋转磁场装置放置在钛合金试板背面。

表 1 机械振动搅拌焊接工艺参数  
Tab.1 Welding process parameters for mechanical vibration stirring

直流电流 /A	氩气流量 / $(L \cdot \min^{-1})$	振动频率 /Hz
300	15	90

表 2 电磁搅拌工艺参数  
Tab.2 Welding parameters for electromagnetic stirring

直流电流 /A	氩气流量 / $(L \cdot \min^{-1})$	磁感应强度 /T	输入电压 /V	旋转速率 / $(r \cdot \min^{-1})$
300	15	0.5	220	600

试验材料选用 Ti、Si 和 C 的摩尔比为 3:1:2 的粉末制作熔覆条。熔覆条在 TIG 电弧热的作用下在钛合金试板表面堆焊。熔覆条的制作工艺与文献[2]

收稿日期:2013-01-13

基金项目:武汉科技大学校青年基金项目(250089)

作者简介:孙锐(1991-),男,湖北京山人,本科学历,研究方向:陶瓷复合材料焊接新技术;电话:15671625207;

E-mail:1270725849@qq.co

中的制作方法相同。分别进行机械振动搅拌焊接、电磁搅拌焊接和不加任何辅助装置的焊接。焊后切取熔覆层试样,经过磨样、抛光和腐蚀后(腐蚀液为  $\text{HNO}_3:\text{HF}:2\text{H}_2\text{O}$ )用光学显微镜和扫描电镜观察微观组织,对晶粒大小和组织均匀性进行对比分析。

## 2 结果及讨论

不同 TIG 焊接工艺下的熔覆层微观组织如图 1 所示。经过 SEM 电镜加 EDS 元素分析和 XRD 检测

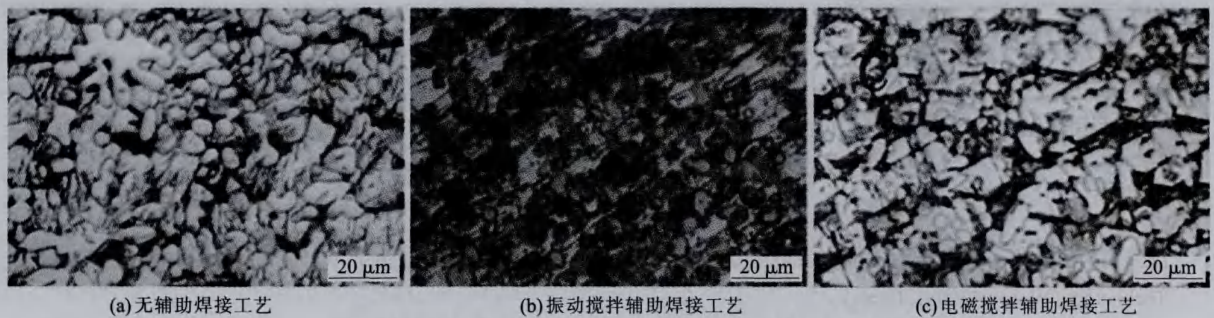


图 1 不同 TIG 焊接工艺下的熔覆层微观组织

Fig.1 Microstructure of cladding under different TIG welding processes

时,熔覆层中的金相组织有明显变化,熔覆层中的晶粒得到细化,并且 TiC 从粗晶形态变为细小的等轴晶形态。这说明在外加机械振动或者磁场的的作用下,熔池中正在结晶的组织被打碎,粗晶组织几乎消失,如图中的  $\text{Ti}_3\text{Si}_3\text{C}_x$  相从大块晶形态逐渐变为小块晶形态。不仅如此,从图 1 中也可以看出,与无任何辅助装置相比,外加机械振动或者电磁搅拌装置焊接后的金相组织的均匀性更高。

这种晶粒细化和组织均匀的原因在于外加振动或者磁场时,对处于熔融状态的熔池金属起搅拌作用,可以使粗大晶粒变碎,组织更均匀。实质上,凝固的过程是晶体形核和长大的过程。晶粒度的大小决定于单位面积内晶粒的数目 ( $Z_s$ ),  $Z_s$  越大晶粒越细小。 $Z_s$  的主要决定因素是形核率  $n$  和晶粒成长线速度  $c$ ,它们之间的关系如下式<sup>[3]</sup>:

$$Z_s = 1.1(n/c)^{1/2}$$

从上式可以看出,只要是影响  $n$  和  $c$  的因素,都必然影响结晶后的晶粒尺寸。 $n$  增大, $c$  减小时, $Z_s$  增大,单位面积内晶粒数目增多,可以细化晶粒。相起伏和能量起伏为形核时的两个必要条件。紧密接触、排列规则的近程有序的原子集团存在于液态熔池中的微小范围内,这些原子集团处于不断的热运动中,

表明<sup>[2]</sup>,不规则圆形的组织为 TiC,块状白色区域为  $\text{Ti}_3\text{Si}_3\text{C}_x$  相。

用 Ipp6.0 图像处理软件计算图中的不规则圆形组织的晶粒度,计算结果表明,不加任何辅助焊接装置的 TIG 焊接熔覆层中, TiC 的晶粒度约为  $3.55 \mu\text{m}$ ; 采用振动辅助焊接装置焊接的熔覆层中, TiC 的晶粒度约为  $2.60 \mu\text{m}$ ; 而采用电磁搅拌辅助焊接装置焊接的熔覆层中, TiC 的晶粒度约为  $2.23 \mu\text{m}$ 。从晶粒度的数据可以看出,采用辅助焊接装置焊接

会瞬时出现和瞬时消失,结果增大了液态金属中的结构起伏或相起伏。外加振动或者磁场输入熔池中的能量能够加速原子的热运动,从而加速了相起伏,增多了晶核的数量,故形核率  $n$  变大。另外,在外场作用下,由于对熔池搅拌的作用,晶粒长大线速度  $c$  减小,也使得晶核数目增加。

## 3 结论

在 TIG 焊接过程中引入机械振动和电磁搅拌辅助技术,试验结果表明,可以使焊缝组织均匀性增加;通过计算表明,使用电磁搅拌辅助技术形成的焊缝的晶粒度最小,达到  $2.23 \mu\text{m}$ ,起到晶粒细化的效果。

### 参考文献:

- [1] Tseng C F, Savage W F. The effect of arc oscillation in either the transverse or longitudinal direction has a beneficial effect to the fusion zone microstructure and tends to reduce sensitivity to hot cracking[J]. Welding Journal, 1971, 50(12):777-785.
- [2] Yan W Q, Dai L, Gui C B. In situ synthesis and hardness of TiC/Ti5Si3 composites on Ti-5Al-2.5Sn substrates by gas tungsten arc welding[J]. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials, 2013, 20(3): 284-289.
- [3] 崔忠圻. 金属学与热处理[M]. 北京:机械工业出版社,1995.