

TC4 钛合金电弧超声 TIG 焊

周荣林¹, 郭德伦¹, 李从卿¹, 孙永春¹, 张雁军²

(1. 北京航空制造工程研究所, 北京 100024; 2. 清华大学, 北京 100081)

摘 要: 进行了 TC4 电弧超声 TIG 焊接与传统 TIG 焊, 利用 X 射线探伤检测接头质量, 金相显微镜和 SEM 观察接头组织和断口, 利用万能试验机测试接头拉伸性能。结果表明, 严格按照航空标准进行 TC4 常规 TIG 焊与电弧超声 TIG 焊, 所获得的接头均达到航空一级; 随着加入超声频率的增加, 激励电压的增大, 电弧超声 TIG 焊焊缝组织细化、等轴化, 枝晶破坏痕迹不明显, 接头抗拉强度、屈服强度和延伸率均有所提高。

关键词: 电弧超声; TIG 焊; TC4 合金

中图分类号: TG454 **文献标识码:** A **文章编号:** 0253-360X(2004)06-97-02



周荣林

0 序 言

钛合金 TIG 焊接结构在航空、航天、航海、石油化工等领域具有广阔的应用前景, 其中有效解决钛合金 TIG 焊接区组织的粗大问题的技术成为钛合金焊接结构可靠应用的关键所在。

考虑到焊接电弧的变阻性负载特性, 使电弧受到外加高频激励源, 使作为加工热源的电弧, 同时也成为一种可控的超声发射源, 其原理见图 1。这项技术在钢铁材料焊接得到了应用, 并且取得一定的效果。针对具有广阔应用前景的新材料—钛合金, 开展其中代表性的材料 TC4 电弧超声 TIG 焊接与传统 TIG 焊, 利用 X 射线探伤检测接头质量, 利用金相显微镜观察接头组织, 利用万能试验机测试接头拉伸性能, 利用 SEM 观察接头断口, 分析不同超声参数作用下 TIG 焊及常规 TIG 焊接头组织。对于推动电弧超声焊接技术及钛合金焊接结构的应用具有非常重要的意义。

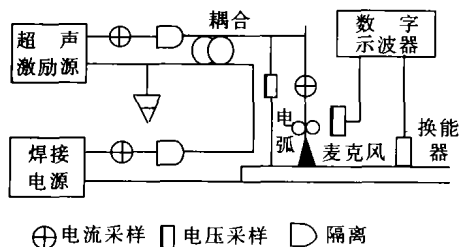


图 1 电弧超声原理图

Fig. 1 principle of arc-ultrasonic welding

1 试 验

焊接所用的材料为 TC4 (Ti6Al4V), 规格为 2 mm × 50 mm × 300 mm 平板, 焊丝为 $\phi 1.2$ mm 的 TC3。在表 1 焊接规范下, 进行常规 TIG 焊接和电弧超声 TIG 焊。改变超声参数即: 激励电压 u 和频率 f , 确定较好的电弧超声 TIG 焊工艺。

表 1 焊接规范

Table 1 Welding parameters

焊接电流 I/A	电弧电压 U/V	焊接速度 $v/(m \cdot h^{-1})$	送丝速度 $v_s/(m \cdot h^{-1})$
165	10	12.5	27

利用 X 射线探伤检测接头质量, 利用金相显微镜观察接头组织, 利用万能试验机测试接头拉伸性能, 并利用 SEM 观察接头断口, 对比分析不同超声参数作用下 TIG 焊及常规 TIG 焊接头组织与性能。

2 试验结果与讨论

2.1 X 射线探伤

按照 HB5386-87 对 TC4 接头进行 X 射线探伤检测, 结果表明, TC4 常规 TIG 及电弧超声 TIG 焊接头质量符合航空一级标准。

2.2 接头组织观察

图 2 为不同工艺条件下 TC4 接头组织照片。

由图 2 可以看出, 随着超声频率 f 的增加, 激励电压 U 的增大, 电弧超声 TIG 焊接头宽度逐渐减小, 焊缝组织细化、等轴化, 在 $f = 80$ kHz, $U = 70$ V 时, 焊缝基本等轴化。

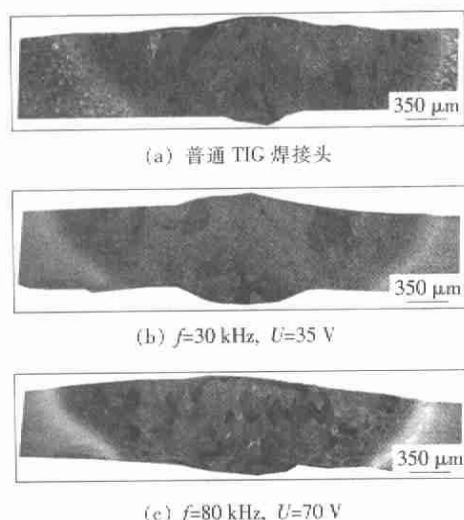


图 2 不同工艺条件下 TC4 接头组织照片
Fig.2 Microstructure of welded joint with various parameters

2.3 接头拉伸性能测试

按照航空标准进行试件加工和拉伸性能测试,钛合金母材、常规 TIG 和超声 TIG 接头拉伸性能结果见表 2。可见随着超声频率增加、激励电压升高,接头拉伸性能有所提高。

表 2 焊接接头拉伸性能
Table 2 Tensile Properties of welded joint

	σ_b/MPa	σ_s/MPa	$\delta(\%)$
常规 TIG	956.6	921.1	3.33
电弧超声 TIG ($f=30\text{ kHz}, U=30\text{ V}$)	966.6	947.1	3.50
电弧超声 TIG ($f=80\text{ kHz}, U=70\text{ V}$)	985.7	969.3	3.67

2.4 接头断口观察

图 3、图 4 分别为常规 TIG 焊接及 $f=80\text{ kHz}$ 、 $U=70\text{ V}$ 时电弧超声 TIG 焊接接头断口形貌。

从图 3、图 4 可以看出,TC4 常规 TIG 焊宏观断口起伏较大且不均,不同区域放大可见明显的枝晶破坏痕迹,说明在其接头中形成了粗大的树枝晶,并且其成为接头的薄弱环节。而在 $f=80\text{ kHz}$ 、 $U=70\text{ V}$ 的电弧超声 TIG 焊宏观破坏起伏均匀,不

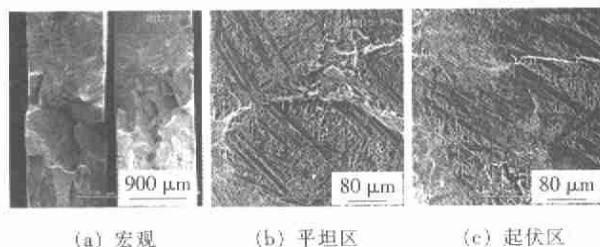


图 3 TC4 常规 TIG 焊接接头断口照片
Fig.3 Fractographs of joint welded by TIGW

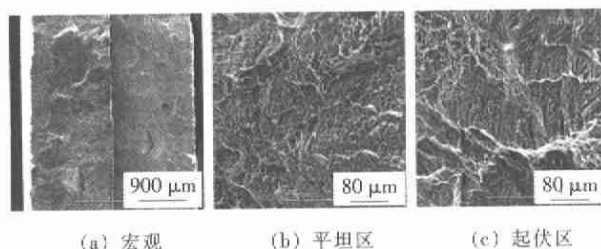


图 4 TC4 电弧超声 TIG 焊接接头断口照片
($f=80\text{ kHz}, U=70\text{ V}$)

Fig.4 Fractographs of joint welded by arc-ultrasonic TIGW ($f=80\text{ kHz}, U=70\text{ V}$)

同区域放大可见均匀的破坏,而且已经难以看到枝晶破坏的痕迹,断口的均匀性和韧性明显好于一般 TIG 焊接头。这是由于超声的引入,加剧了熔池的振动、搅拌作用,同时促进晶核的形成,从而有效抑制了晶体组织的长大,促使焊缝区组织的均匀化。

3 结 论

- (1) 常规 TIG 焊接头组织粗大且不均,破坏沿着粗大枝晶破坏
- (2) 电弧超声 TIG 焊接头,随着超声频率的增加和激励电压的增大,焊缝区组织逐渐细化、等轴化,接头宽度有所降低,接头拉伸性能有所提高。
- (3) 在 $f=80\text{ kHz}$ 、 $U=70\text{ V}$ 时的电弧超声 TIG 焊接时,焊缝基本是细小的等轴晶,接头破坏已经难以看到枝晶破坏的痕迹。
- (4) 严格按照航空标准进行 TC4 常规 TIG 焊与电弧超声 TIG 焊,其接头均达到航空一级焊缝。

参考文献:

- [1] Greer A L, Application to grain of aluminum by Al-Ti-B[J]. Acta Materials, 2000, 48(11): 2823-2835.
- [2] Dvornak M J. Influence of solidification kinetics on aluminum weld grain refinement[J]. Welding Journal, 1991, 70(10): 271-276.
- [3] 殷威青. 电磁搅拌对 LD10CS 铝合金焊接接头晶粒细化效果及其强度改善的研究[J]. 机械强度, 1999, 21(4): 268-270.
- [4] Stoeckinger G R. Pulsed DC high frequency GTA welding of aluminum plate[J]. Welding Journal, 1973, 53(12): 558-567.
- [5] 蔡幸甫. 钛及钛合金工业之应用及现状[J]. 工业材料, 1997, (4): 47-50.
- [6] 邱长军. 脉冲电流下的热喷涂涂层组织转变[J]. 热加工工艺, 2001, (2): 22-24.

作者简介: 周荣林,男,1968 年出生,博士,高级工程师。从事航空新材料的焊接性、工艺(熔焊与固相焊接)、结构与力学、数字化技术研究,曾获航空科学进步奖 2 项,航天科学进步奖 1 项,发表论文 20 余篇。

Email: zhouronglin2000@sina100.com