

DOI: 10.19452/j.issn1007-5453.2017.06.070

焊接速度对 TC18 电子束焊接接头拉伸性能的影响试验研究

韩文*

航空工业第一飞机设计研究院, 陕西 西安 710089

摘要: 将电子束焊接的 TC18 厚板分成上、中、下 3 层, 在其他条件不变的情况下, 借助拉伸力学性能测试、扫描电镜观察等方法, 通过改变焊接速度, 研究不同焊接速度对焊接接头拉伸性能的影响。结果表明, 焊接速度分别为 6mm/s, 8mm/s 和 10mm/s 时, 接头的拉伸性能均不同, 随着焊接速度的升高, 接头分层切片的强度和塑性升高。焊接速度为 10mm/s 时, 接头底部的屈服强度、抗拉强度和塑性相对较好。

关键词: 电子束焊接; 强度和塑性; 焊接速度

中图分类号: TG407 文献标识码: A 文章编号: 1007-5453 (2017) 06-0070-04

TC18 钛合金是 20 世纪 70 年代苏联航空材料研究院开发的一种高强度近 α 钛合金, 主要用于制造各种大型锻件和高承载力的航空结构件^[1,2]。电子束焊接具有热量集中、焊缝深宽比较大、焊接速度快、接头物理性能较好、焊接残余应力和变形小等优点, 易实现高精度焊接, 是钛合金焊接常采用的方法之一^[3]。目前, 国内外对 TC18 钛合金厚板电子束焊接 (EBW) 接头组织和性能的研究较少, 特别是系统的研究焊接条件的改变对焊接接头性能的影响。因此, 焊接条件的改变对 TC18 钛合金 EBW 接头组织和性能影响的研究在钛合金厚板焊接及航空航天领域都具有重要的科学意义和实用价值^[4]。

1 试验方法

将退火态的 TC18 钛合金锻件, 使用线切割及机械加工的方法加工成尺寸为 100mm × 75mm × 15mm 的待焊件, 沿 100mm × 15mm 面对焊。焊接前对试件进行清理, 用钢丝刷打磨试板表面, 去除氧化膜, 然后用绸布蘸乙醇擦拭待焊处表面, 去除油污和外来杂物。在 KS150-G150 电子束焊机

上进行焊接试验。将焊接后的试板沿 15mm 厚度方向分成上、中、下 3 层 (分别用 T、M、B 表示), 再将每层试板骑焊缝裁成标准试样, 用于性能测试。

试验选择在加速电压 150kV、聚焦电流 2090mA 和电子束流 23mA 一定的条件下, 探讨 3 种焊接速度 (分别为 6mm/s, 8mm/s, 10mm/s) 对 TC18 钛合金电子束焊接接头拉伸性能的影响规律。

2 试验结果与分析

2.1 拉伸性能

表 1 为应变速率为 $10^{-4}/s$ 时, TC18 钛合金母材及焊接速度分别为 6mm/s, 8mm/s 和 10mm/s 时, TC18 钛合金厚板电子束焊接接头分层切片的屈服强度、抗拉强度和延伸率。从表 1 中可以发现, 不同焊接速度下, 接头分层切片的屈服强度和抗拉强度均小于母材, 塑性严重下降。当焊接速度为 10mm/s 时, 接头强度和塑性均较好, 接头底部的屈服强度为 913MPa, 达到母材的屈服强度的 88%; 抗拉强度为 971MPa, 达到母材的 87%; 延伸率为 3.9%, 达到母材的

收稿日期: 2017-04-01; 退修日期: 2017-05-11; 录用日期: 2017-05-12

* 通讯作者. Tel.: 17791684996 E-mail: 47484014@qq.com

引用格式: HAN Wen. The influence of the welding speed on the tensile properties of TC18 titanium alloy joints welded by electron beam[J]. Aeronautical Science & Technology, 2017, 28 (06): 70-73. 韩文. 焊接速度对 TC18 电子束焊接接头拉伸性能的影响试验研究[J]. 航空科学技术, 2017, 28 (06): 70-73.

27%。从表 1 可以发现,接头分层切片中,底部的强度最高,上部的强度最低。上部和底部的塑性接近,均高于中部。

从表 1 还可以发现,随着焊接速度的升高,接头分层切片的强度和塑性均有所升高。采用 3 种焊接速度的焊接接头,焊接速度为 10mm/s 时,接头分层切片的力学性能最佳。

表 1 母材和 EBW 接头 3 层切片的拉伸性能

Table 1 Tensile properties of BM and EBW joints welded three slices

试样	焊接速度 / (mm/s)	力学性能		
		屈服强度 / MPa	抗拉强度 / MPa	延伸率 / (%)
母材	-	1036	1115	14.4
上部	6	798	838	3.5
	8	822	847	3.7
	10	825	892	4
中部	6	826	853	1.3
	8	885	914	2.8
	10	901	946	3.2
底部	6	828	856	2.7
	8	907	950	3.1
	10	913	971	3.9

焊接速度不同引起接头的热输入发生变化,从而引起接头组织发生变化,进而影响接头拉伸性能。由霍尔-佩奇 (Hall-Petch) 公式:

$$\sigma_y = \sigma_0 + kd^{-1/2} \quad (1)$$

式中: σ_y 为材料的屈服强度; σ_0 为常数,表示晶内对变形的阻力; k 为表征晶界对强度影响的程度,是与晶界结构有关的常数; d 为多晶体中晶粒的平均直径。

晶粒越细小,单位体积材料中晶粒的数目越多,晶界的总面积越大,对材料变形的阻力越大,材料强度越高。同时,在一定体积内的晶粒数目越多,在同样变形量下,变形分散

在更多的晶粒内进行,变形较均匀,引起的应力集中减小,使材料在断裂之前能承受较大的变形量,所以晶粒细小而均匀时材料的塑性较好^[5]。随着焊接速度的升高,焊缝区和热影响区宽度变窄,且晶粒尺寸变小,在拉伸变形中,晶界对材料变形的阻力变大,变形较均匀,所以接头分层切片的强度与塑性均升高。

TC18 钛合金电子束焊接后组织与母材相比发生明显的变化,焊缝熔合区由网篮组织与弥散分布的球状 α 转变为柱状晶组织,强度明显低于母材。双重退火后的 TC18 钛合金母材仍保持较高的塑性,即母材塑性较好。而焊缝的塑性明显下降。接头沿板厚方向组织分布的不均匀性决定了沿板厚方向分层切片的强度和塑性有所不同。接头上部焊缝宽度最大且晶粒粗大导致其强度最低。与接头上部相比,中部和下部焊缝宽度较小且只是略有差异,所以下部强度高于中部和上部强度。

2.2 显微组织分析

图 1 和图 2 分别为应变速率为 10^{-4} /s、焊接速度为 6mm/s 和 10mm/s 条件下 TC18 钛合金 EBW 接头上部的拉伸断口 SEM 形貌。对比图 1 (a) 和图 2 (a) 中所示的宏观形貌可知,接头上部断口表面均存在明显的塑性变形,焊速较大时变形比较均匀,断裂源均产生于试样表面。对比断口表面不同区域放大的 SEM 组织可知,焊接速度为 6mm/s 时,接头上部的断裂机制相对复杂,断口表面形貌不同区域的特征不同。如图 1 (b) 所示的中心区域出现了“河流花样”和较大的解理面和图 1 (c) 中所示的气孔周围的韧窝形貌等均影响该接头上部切片拉伸性能。图 2 (b) 和 2 (c) 中呈现较多的韧窝,表现出较好的韧性断裂特征,这与焊接速度为 10mm/s 时接头上部切片性能优于焊接速度 6mm/s 时吻合。

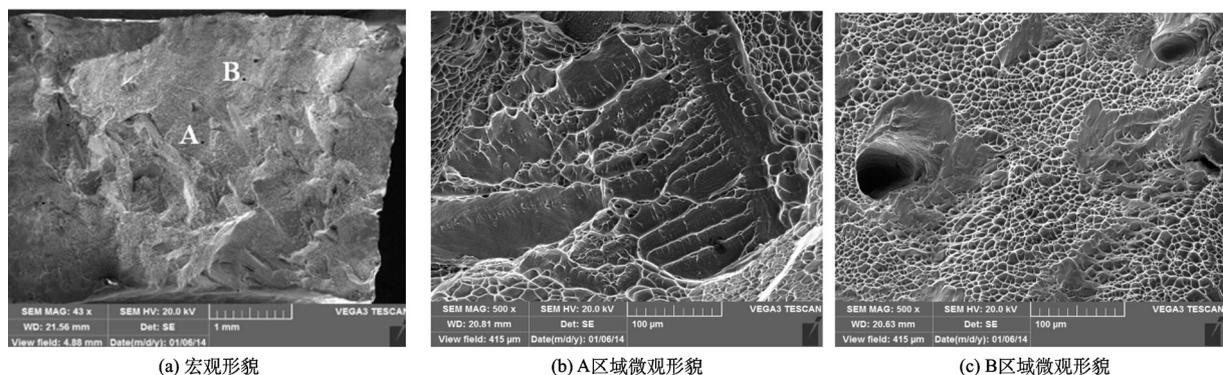
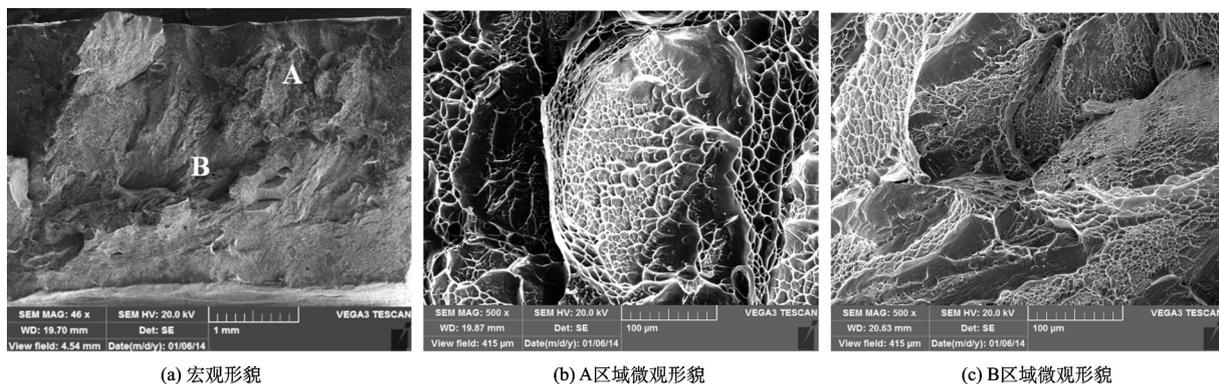


图 1 焊速 6mm/s 时焊缝上部的拉伸断口 SEM 组织形貌
Fig.1 SEM images showing the fracture surfaces of the top slice of 6mm/s



(a) 宏观形貌

(b) A区域微观形貌

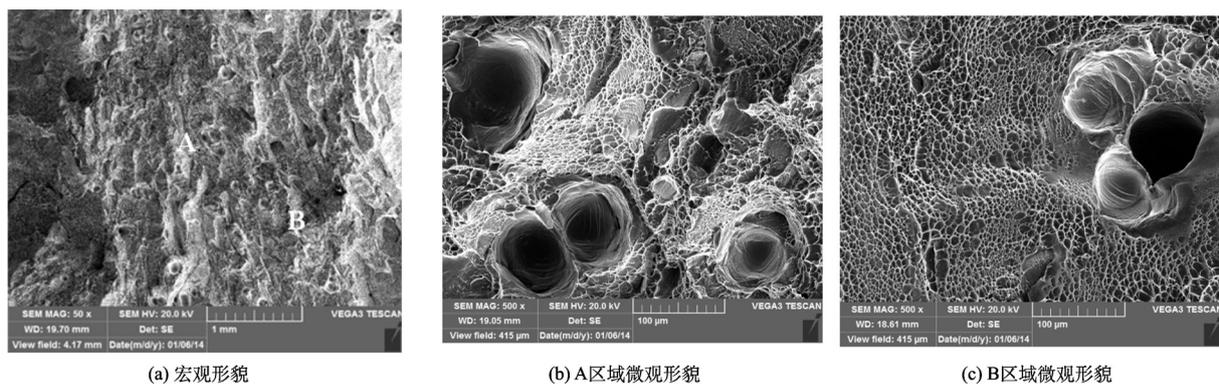
(c) B区域微观形貌

图2 焊速 10mm/s 时焊缝上部的拉伸断口 SEM 组织形貌

Fig.2 SEM images showing the fracture surfaces of the top slice of 10mm/s

图3和图4所示为应变速率为 10^{-4} /s、焊接速度为6mm/s和10mm/s条件下TC18钛合金电子束焊接接头底部的拉伸断口SEM形貌。焊接速度为6mm/s时,接头底部出现了较大的解理面和气孔周围的韧窝形貌等,影响该

接头底部切片拉伸性能。焊接速度为10mm/s时,接头底部较多的韧窝,表现出较好的韧性断裂特征,这同样与焊接速度为10mm/s时接头底部切片性能优于焊接速度6mm/s时吻合。



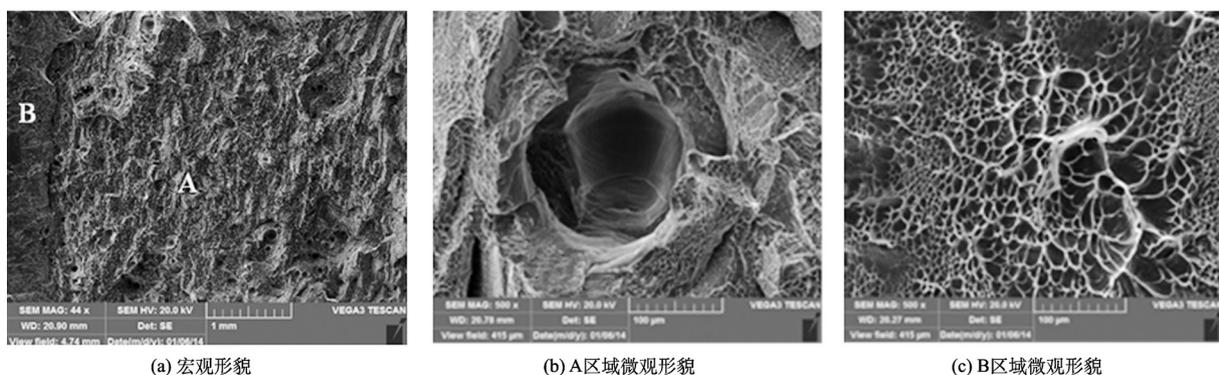
(a) 宏观形貌

(b) A区域微观形貌

(c) B区域微观形貌

图3 焊速 6mm/s 时焊缝底部的拉伸断口 SEM 组织形貌

Fig.3 SEM images showing the fracture surfaces of the bottom slice of 6mm/s



(a) 宏观形貌

(b) A区域微观形貌

(c) B区域微观形貌

图4 焊速 10mm/s 时焊缝底部的拉伸断口 SEM 组织形貌

Fig.4 SEM images showing the fracture surfaces of the bottom slice of 10mm/s

3 结束语

其他条件不变,随着焊接速度的升高,接头分层切片的

强度和塑性升高。焊接速度为10mm/s时,接头底部的屈服强度为913MPa,达到母材的屈服强度的88%;抗拉强度为971MPa,达到母材的87%;延伸率为3.9%,达到母材的

27%；接头底部的屈服强度、抗拉强度和塑性相对较高，可以以此作为工程参考，确定最佳焊接工艺。

AST

参考文献

- [1] 张喜燕,赵永庆,白晨光,等. 钛合金及应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005; 35-37.
ZHANG Xiyan, ZHAO Yongqing, BAI Chenguang, et al. Titanium alloy and its application[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005; 35-37. (in Chinese)
- [2] 莱茵斯 C,皮特尔斯 M. 钛与钛合金 [M]. 陈振华,译. 北京: 化学工业出版社, 2005; 20-23.
Leyens C, Peters M compiled. Titanium and titanium alloys[M]. CHEN Zhenhua translated. Beijing: Chemical Industry Press, 2005; 20-23. (in Chinese)
- [3] 戚运莲,洪权,刘向,等. 钛及钛合金的焊接技术 [J]. 钛合金工业, 2004 (6): 26-27.
QI Yunlian, HONG Quan, LIU Xiang, et al. Titanium and titanium alloy welding technology[J]. Titanium Alloy Industrial, 2004 (6): 26-27. (in Chinese)
- [4] 大型军用运输机材料分析与选用编委会. 大型军用运输机材料分析与选用 [M]. 北京: 航空工业出版社, 2005; 60-61.
Large Military Transport Material Selection Analysis and Editorial Board. Large military transport material analysis and selection[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2005; 60-61. (in Chinese)
- [5] 文九巴. 材料科学基础 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2007; 10-12.
WEN Jiuba. Fundamentals of materials science[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 2007; 10-12. (in Chinese)

作者简介

韩文(1982—)女,硕士,工程师。主要研究方向: 航空用金属材料。

Tel: 17791684996 E-mail: 47484014@qq.com

The Influence of the Welding Speed on the Tensile Properties of TC18 Titanium Alloy Joints Welded by Electron Beam

HAN Wen*

AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China

Abstract: The TC18 titanium alloy with electron beam welding were divided into three slices (top, middle and bottom). Under the same condition, studied changing welding speeds' effect on joints tensile propertied by means of tensile mechanical properties test and scanning electron microscopy. The results show that the tensile properties of the joints are different when the welding speed is 6mm/s, 8mm/s and 10mm/s respectively. With the increase of the welding speed, the strength and plasticity of the joint slices are increased. When the welding speed is 10mm/s, the yield strength, tensile strength and plasticity of the joint bottom are relatively well.

Key Words: electron beam welding; strength and ductility; weld rates

Received: 2017-04-01; Revised: 2017-05-11; Accepted: 2017-05-12

*Corresponding author. Tel.: 17791684996 E-mail: 47484014@qq.com