

# TC18 钛合金焊接接头应用性能研究

## Experimental Study of TC18 Titanium Alloy Welding Joint

中航工业第一飞机设计研究院 杨 健

**[摘要]** 采用氩弧焊和电子束焊 2 种焊接工艺对 TC18 锻坯进行焊接,按焊接接头试验方法进行了拉伸和冲击试验,获得了焊接接头的强度系数和冲击韧性。试验结果表明,TC18 钛合金焊接接头具有良好的焊接性,同时,对于飞机焊接结构设计应优先选用电子束焊。

**关键词:** TC18 焊接接头 氩弧焊 电子束焊

**[ABSTRACT]** TC18 titanium alloy forging was welded by TIG welding and beam welding respectively. The welding joint strength factor and impact property were attained by experimental study. The result showed that TC18 titanium alloy forging is weldable, and beam welding should be choose firstly for aircraft welded structure.

**Keywords:** TC18 Welding joint TIG welding Beam welding

TC18 钛合金是一种  $\alpha-\beta$  型、高强高韧可焊型钛合金,退火后的强度在 1080MPa 以上,是目前退火状态下强度最高的钛合金,焊接接头强度系数可达 90%。TC18 钛合金的突出优点是空气介质中的淬透截面厚度可达 250mm,用 TC18 钛合金替代传统高强度钢,可实现飞机结构减重 15% 左右,在制造飞机大型承力结构件方面具有明显优势。焊接作为航空结构制造的一种重要方法,在国内外进行了大量研究<sup>[1-4]</sup>,如伊尔-76 飞机主承力构件采用焊接结构,解决了大型构件的整体制造问题。目前,国内主要针对 TC4、TA15 等中强钛合金开展了焊接技术研究<sup>[5-7]</sup>,对 TC18 高强钛合金的焊接技术研究较少,随着我国大飞机的研制,钛合金焊接结构将成为一种重要的结构形式,尤其是大型钛合金焊接结构。基于此,本文针对 TC18 锻件开展焊接接头性能试验研究,通过对比研究两种不同焊接工艺接头静强度(拉伸性能、冲击性能),以验证 TC18 钛合金的可焊性,获得焊接接头强度系数,为飞机设计提供基础数据。

### 1 试验件

考虑到大飞机对钛合金的需求规格,锻坯选用直径 350mm 的 TC18 棒材锻造,在简易模具上锻造成厚度 45mm 的锻坯,然后再机加成 30mm 厚坯料,按 GJB 2744A-2007 复验合格后,分别采用氩弧焊(U 型)和电

子束焊进行对焊,其中氩弧焊采用 TA20 焊丝,焊接接头进行焊后热处理。

## 2 试验

### 2.1 冲击性能试验

根据 GB2649-1989 要求,切取和制备标准夏比冲击试样(V 型缺口),按 GB2650-1989 试验方法,在标准摆锤试验机(JBN-300B)上进行 TC18 焊接接头的室温冲击试验,获得冲击韧性  $a_{kv}$ 。

### 2.2 拉伸性能试验

根据 GB2649-1989 要求,从焊接接头中部切取和制备标准板状拉伸试样,按 GB2651-1981 试验方法,在标准材料试验机(MTS810)上进行 TC18 焊接接头室温拉伸试验,获得屈服强度  $\sigma_{0.2}$ 、抗拉强度  $\sigma_b$ 、延伸率  $\delta_5$ 、弹性模量  $E$  等性能参数和应力-应变曲线。

## 3 试验结果

### 3.1 冲击性能

#### 3.1.1 冲击韧性

2 种焊接接头的冲击韧性如表 1 所示。

表1 夏比冲击性能

焊接接头	试样	$a_{kv}/J \cdot cm^{-2}$	平均
30mm 氩弧焊	1	47	47.6
	2	47	
	3	42	
	4	46	
	5	56	
30mm 电子束焊	1	15	22.5
	2	22	
	3	23	
	4	26	
	5	26	
	6	23	
母材		$\geq 25$	

#### 3.1.2 冲击断裂

2 种焊接接头的冲击断裂试样如图 1。

从图 1 (a)、(b)看,2 种焊接接头冲击试样均断裂缺口处即焊缝部位,试验结果有效,同时表明 2 种焊接工艺和机械加工工艺稳定。



(a) 30mm 氩弧焊 (b) 30mm 电子束焊

图1 冲击断裂试样

Fig.1 Impact fracture specimen

### 3.2 拉伸性能

#### 3.2.1 拉伸性能

2 种焊接接头的拉伸性能见表 2 和表 3。

表2 30mm氩弧焊拉伸性能

焊接接头	试样	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$E$ /GPa
30mm 氩弧焊	1	823.29	886.79	6.30	117.97
	2	803.44	867.39	5.55	114.82
	3	823.69	898.34	6.10	118.11
	4	778.25	844.71	5.75	115.52
	5	786.28	848.82	5.00	117.80
	平均	802.99	869.21	5.74	116.84

表3 30mm电子束焊拉伸性能

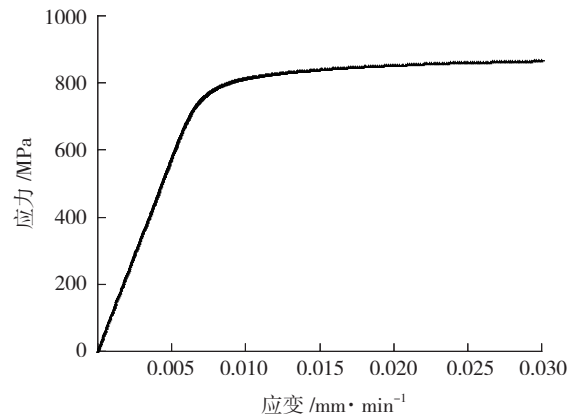
焊接接头	试样	$\sigma_{0.2}$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta_5$ /%	$E$ /GPa
30mm 电子束焊	1	1024.97	1100.42	7.15	117.29
	2	1026.29	1100.35	12.10	115.49
	3	1030.31	1105.46	10.20	117.34
	4	1033.70	1115.92	8.90	115.09
	5	1027.00	1095.48	6.65	122.02
	平均	1028.45	1103.53	9.00	117.45

#### 3.2.2 拉伸断裂

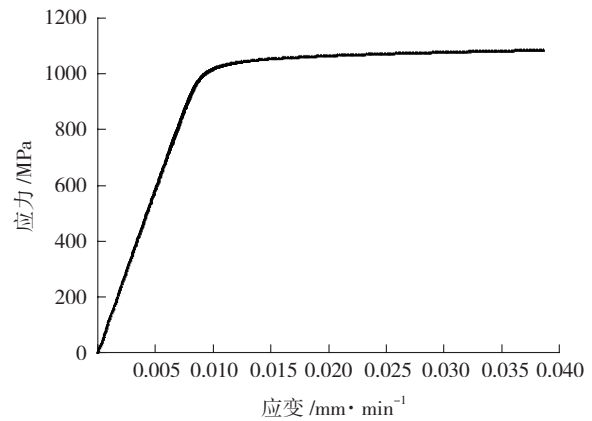
2 种焊接接头的拉伸应力—应变曲线如图 2。

从图 2 看,2 种焊接接头拉伸断裂均断裂在试样中部即焊缝部位,试验结果有效,同时表明 2 种焊接工艺和机械加工工艺稳定。

根据 GJB2744A-2007, TC18 钛合金锻件抗拉强度最低值为 1080MPa,由表 2 和表 3 获得的氩弧焊和电子



(a) 30mm 氩弧焊



(b) 30mm 电子束焊

图2 焊接接头拉伸应力—应变曲线

Fig.2 Welding joint tension stress—strain curve

束抗拉强度平均值,计算 2 种焊接接头的强度系数分别为 0.8 和 1.0。

## 4 结论

(1) 氩弧焊与电子束焊接接头焊缝区冲击韧性差异明显,氩弧焊冲击韧性值高于母材冲击韧性值,而电子束焊的冲击韧性值略低于母材。

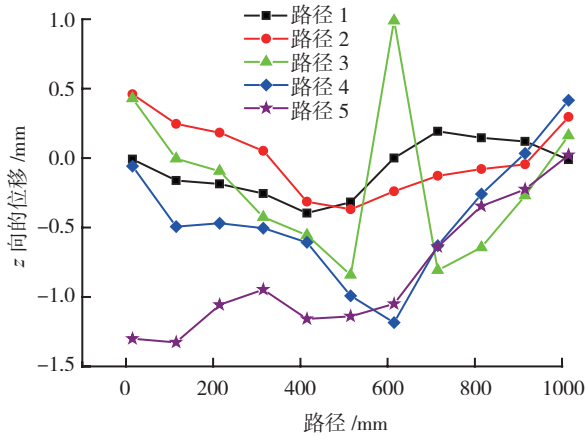
(2) 电子束焊接接头抗拉强度及延伸率均值分别为 1100MPa 和 9%,与母材强度相当;氩弧焊接头抗拉强度在 800 MPa ~900MPa,延伸率为 6% 左右,低于电子束焊,原因是由于氩弧焊添加了合金化程度较低的 TA20 焊丝。

(3) 氩弧焊焊接接头强度系数为 0.8,电子束焊焊接接头强度系数达到 1.0,因此,对于飞机焊接结构设计应优先选用电子束焊工艺。

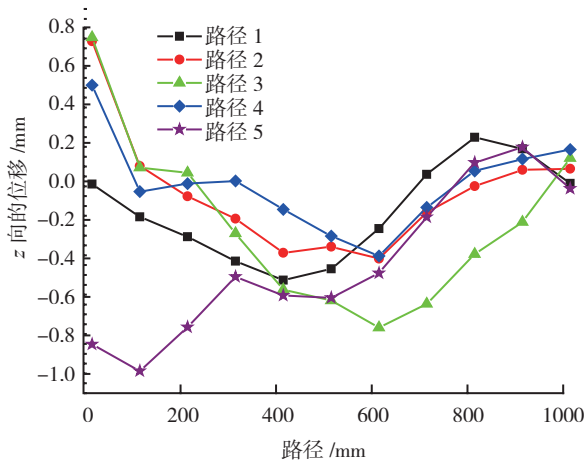
### 参考文献

[1] 董宝明,郭德伦,张田仓.钛合金焊接结构在先进飞机中的

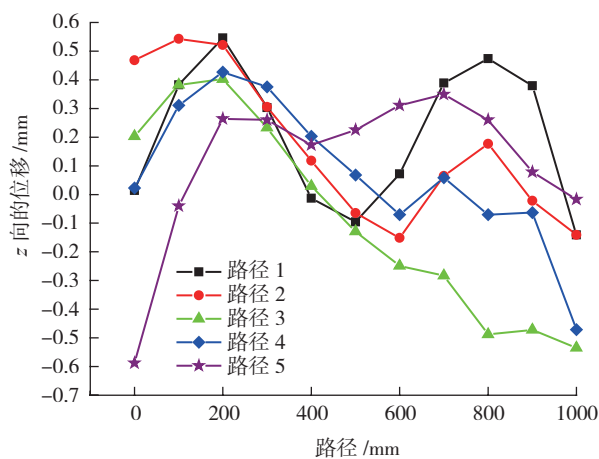
(下转第 22 页)



(a) 1-4-3-2 顺序下各路径上的 z 向位移



(b) 1-3-2-4 顺序下各路径上的 z 向位移



(c) 对称 1-4-3-2 焊时各路径上的 z 向位移

图4 各种顺序下各路径上的z向位移

Fig.4 Displacement of z direction under different symmetrical welding sequence

他两种情况要小,其原因是4块立板同时对称焊接时,结构在整体上处于一种平衡对称的状态,因而变形也相对比较小。此外实际焊接后所测结果比模拟计算的结

果要小,可能是由于模拟过程中未考虑重力的影响,而实际焊接中结构是置于工作平台上的,在结构本身的重力作用下抵消了部分焊接变形的缘故。

#### 4 结论

考察了4块立板间的焊接顺序,焊接起始端以及单块立板上各段焊缝的焊接顺序对结构焊后变形的影响,分析了壁板结构焊后的整体变形规律,并对焊接顺序进行了优化。

(1) 模拟结构表明壁板结构焊后产生了马鞍型变形,即沿焊缝纵向截面上壁板发生了向下的挠曲变形,沿焊缝横向截面上壁板发生了向上的挠曲变形。

(2) 在局部对单块立板采用先点固两端然后交错焊接的方法,在整体上对4块立板依次焊接相同位置的焊缝,此时控制焊后变形的效果最好。

#### 参考文献

- [1] 吴爱萍,赵海燕,史清宇,等. 航空航天焊接结构件应力与变形的预测与控制. 航空制造技术,2008(24):26-30.
- [2] 李军,杨建国,翁路露,等. 薄壁结构焊接的焊中控制研究现状. 焊接,2008(8):16-21.
- [3] Zhang Y, Yang J G, Liu X S, et al. Finite element analysis of controlling the TC4 thin plate weldment wave-like deformation by welding with impacting rotation. China Welding, 2010, 19(4):74-78.
- [4] Li J, Yang J G, Li H L, et al. Numerical simulation on buckling distortion of alloy thin-plate weldment. Frontiers of Materials Science in China, 2009, 3(1): 84-88.
- [5] Deng D, Ma N S, Murakawa H. Finite element analysis of welding distortion in a large thin-plate panel structure. Transaction of JWRI, 2011, 40(1):89-100.
- [6] 张勇,杨建国,李军,等. 随焊冲击旋转挤压控制 TC4 薄板焊接失稳变形工艺. 焊接学报,2011, 32(1):85-88.
- [7] 张学秋,杨建国,刘雪松,等. 焊接顺序对整体叶盘圆度影响的有限元分析. 焊接学报, 2010. 31(3):57-60. (责编 日午)

(上接第 18 页)

应用及发展. 航空材料学报, 2003(S1): 249-253.

- [2] 薛松柏,张亮,皋利利,等. 航空器制造中的焊接技术. 航空制造技术, 2009(19):26-29.
- [3] 李晓红. 先进焊接技术在航空制造中的应用. 航空制造技术, 2008(13):26-29.
- [4] 毛智勇. 电子束焊接技术在大飞机中的应用分析. 航空制造技术, 2009(2): 92-94.
- [5] 付刚,胡刚. TC4 钛合金超塑性成形 / 扩散连接后电子束焊接技术. 航空制造技术,2004(12):72-74.
- [6] 王向明,刘文斑. TA15 钛合金薄板氩弧焊对接焊缝疲劳特性研究. 飞机设计,2007(6):24-27.
- [7] 赵大伟,赵秀娟,罗宇,等. TC4 钛合金电子束焊接接头中值疲劳寿命研究. 航空制造技术, 2009(14):88-90. (责编 亿霖)