

TA12 改进型钛合金电子束焊接头性能分析

Performance Analysis of TA12 Titanium Alloy by Modified Weld Joint
Electron Beam Welding Method

中航工业沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司 任萍 张炳海 崔泽君
南京航空航天大学材料科学与技术学院 董丰波

[摘要] 采用真空电子束焊对 TA12 合金进行了焊接,试样表面成型性良好。通过光学显微镜、拉伸和疲劳试验等方法,对获得焊接接头的组织和机械性能进行了研究。结果表明:真空电子束焊焊接 TA12 改进型合金,焊缝区以马氏体为主,焊接接头有很好的机械性能,达到作为焊接结构件的要求。

关键词: TA12改进型合金 电子束焊接 接头性能

[ABSTRACT] The vacuum electron beam welding method is used for TA12, and the surface of the sample shows well. Through optical microscopy, tensile and fatigue experiments, and other methods, the microstructure and mechanical properties of the joints are studied. The results show that the TA12 alloy joint with good performance can be obtained by electron beam welding, which meets the requirements of a welded structural component, and the microstructure is mainly martensite phase.

Keywords: TA12 modified alloy Electron beam welding Joint property

TA12 钛合金金属近似于 α 型热强高温钛合金,是国内自行研制的可在 550℃下长期工作的钛合金,又称 Ti-55 合金^[1]。这种合金国外研究比较成熟,主要的产

品以盘和叶片为主,并没有板材品种,工业化高温板材钛合金使用温度也只有为 500℃。目前国内外还没有工业化应用较好的 550℃板材钛合金。中科院金属研究所 在 20 世纪 90 年代初曾经研制过 550℃合金 TA12 (Ti-55)并在某航空发动机上进行了应用^[2]。由于当时 TA12 合金含有稀土元素 Nd,焊接性能稍差,焊接后零件裂纹发生率高,最终应用没有成功。近几年中科院金属研究所对 TA12 合金进行了改进,去掉了稀土元素 Nd,增加了热强元素 Ta 和 Nb,使合金可焊性有很大改善。因此,针对 TA12 钛合金进行电子束焊焊接头的机械性能的分析,对于其在航空发动机等领域的应用具有重要的意义。

1 材料及试验方法

试验所用的材料为 TA12 钛合金 6mm 板材,其中焊接接头的机械性能分别取自标号为 4[#]、5[#]、6[#] 号的板材,母材机械性能取自用于测试高温拉伸性能(最高拉伸温度为 950℃)的板材。TA12 钛合金的化学成分如表 1 所示。

试验采用 KS120-G300KM 型真空电子束焊机,焊接参数见表 2,同时利用显微镜观察焊接接头的显微组织;机械性能测试包括母材在室温和 550℃条件下的拉伸性能,如表 3~4 所示。同时也进行焊缝在室温和 550℃条

表 1 TA12 钛合金化学成份

w/%

Al	Sn	Zr	Mo	Si	Ta	Nb	Fe 及其他微量元素	其余
4.5~5.5	3.0~4.0	2.5~3.5	0.2~1.2	0.2~0.5	0.2~0.7	0.2~0.7	0.25	Ti

表 2 真空电子束焊接参数

焊接方法	聚焦电流 /mA	偏校值	摆动波形	摆动频率 /Hz	摆动幅值 /mm	焊接速度 / (mm·s ⁻¹)	焊接束流 /mA
焊接	2 025	420	三角波	20	1.7	8.0	3.1
修饰焊	2 025	420	三角波	20	2.5	8.0	2.0

件下的拉伸及持久拉伸、疲劳试验并对疲劳断口进行电子扫描分析。

表3 母材的室温拉伸性能

取样方向	试验温度	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	ψ /%
横向	室温	995	1 070	12.5	29.0
		1 000	1 070	12.5	30.0

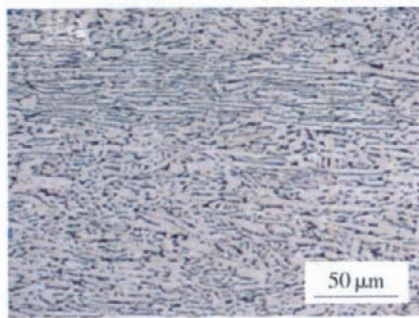
表4 母材的550℃拉伸性能

取样方向	试验温度	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%	ψ /%
横向	550℃	615	720	12.5	57.0
		665	745	9.5	54.0

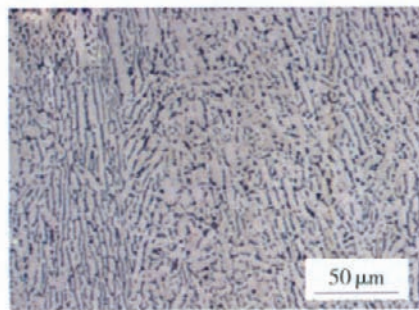
2 试验结果与分析

2.1 焊接接头的显微组织

电子束焊接头由母材区、焊缝热影响区和焊缝熔合区组成,3个区域的显微组织形貌差别较大。母材区的显微组织见图1,典型的锻造组织, $\alpha+\beta$ 两相区和 α 相区的总变形量较大,晶界 α 相被充分破碎,已经无法分辨出原始的 β 晶界。从图中可以看到板材的组织存在明显的方向性,均呈条带状组织; α 相为细的长条状,具有较大的长宽比。焊缝熔合区的显微组织见图2,电子



(a) 平行于焊接方向



(b) 垂直于焊接方向

图1 母材区的显微组织

Fig.1 Microstructure of base metal

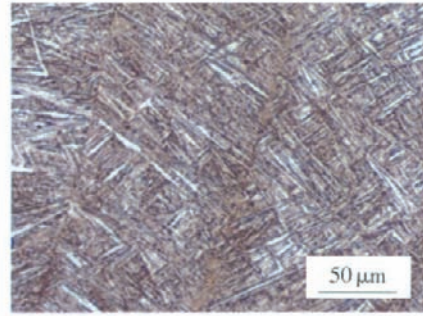


图2 焊缝熔合区的显微组织

Fig.2 Microstructure of welding seam fusion zone

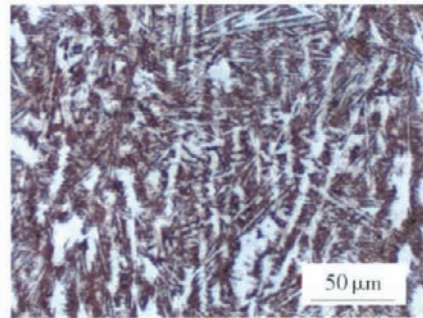


图3 焊缝热影响区的显微组织

Fig.3 Microstructure of welding seam heat-affected zone

束焊接过程中,焊缝熔合区峰值温度超过了熔化温度,且远远高于 $\alpha+\beta/\beta$ 相转变温度,由于电子束焊接热输入小,焊缝冷却速度极快,焊缝熔合区冷却速度极快,凝固界面的移动速度远高于临界值,稀土相颗粒来不及长大成形,即被移动的凝固界面捕获,获得无稀土相团聚的分布状态^[3]。对于TA12等近 α 型钛合金, β 相区的快速冷却将导致焊缝熔合区中发生马氏体相变,在 β 柱状晶内生成细长的 α' 板条马氏体。焊缝热影响区的组织为混合组织,组织均匀性较差,既有相当于在 $\alpha+\beta$ 两相区退火的双态组织,也存在温度超过 β 转变温度、原始 β 晶粒粗大的片层状组织。热影响区的显微组织见图3,由于热影响区的峰值温度也超过 β 相转变温度,在焊后冷却的过程中, β 相转变为 β 转变组织或 α' 马氏体相;距离熔合区越远,热影响区的温度越低,此时只有一部分 β 相转变成了 β 相,焊后冷却的过程中,剩余的初生 β 相将保留到室温,而 β 相将转变为 β 转变组织或 α 马氏体相。

2.2 电子束焊接头的机械性能

在电子束焊接的4[#]、5[#]和6[#]试样上,沿着垂直于焊缝方向制取拉伸试样和持久试样,并进行了拉伸和持久

性能测试。

2.2.1 拉伸性能

焊接接头的拉伸试验结果见表5和表6。由于拉伸试样的断裂位置在母材区,因此,测试出的瞬时强度值为母材的强度,强度水平与表3和表4中的数值基本相当,说明无论是室温还是高温条件下,焊接接头焊缝熔合区和焊缝热影响区的瞬时强度均高于母材区。在室温条件下,焊接接头的延伸率低于母材,这是由于处于拉伸试样中的焊缝熔合区和焊缝热影响区的强度较高,在拉伸试验过程中其塑性变形远小于母材区,对拉伸试样的延伸率基本没有贡献,导致拉伸试样的延伸率小幅下降。由表6可知,在550℃拉伸试验过程中,虽然拉伸试样断于母材区,焊接接头的强度略高于母材,但在高温拉伸条件下焊缝熔合区和热影响区均有了一定的塑性变形,并且塑性变形量与母材区相当或略高于母材区,导致在高温拉伸试验条件下焊接接头的延伸率大于母材。

表5 焊接接头的室焊拉伸性能

试验温度	接头编号	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%
室温	4 [#]	980	1 050	8.0
		980	1 050	8.0
		980	1 050	10.6
	5 [#]	970	1 040	10.6
		970	1 040	10.0
		980	1 050	10.0
	6 [#]	1 000	1 070	12.0
		1 000	1 070	11.3
		990	1 070	8.7

注:试样均断裂于母材区。

表6 焊接接头的550℃拉伸性能

试验温度	接头编号	$\sigma_{0.2}$ /MPa	σ_b /MPa	δ /%
550℃	4 [#]	610	690	14.0
		610	700	12.0
		605	690	14.0
	5 [#]	605	695	13.3
		595	695	13.3
		610	710	—
	6 [#]	640	735	13.3
		645	735	13.3
		650	740	14.0

注:试样均断裂于母材区。

2.2.2 持久性能

对4[#]、5[#]、6[#]组试验样品,进行条件为550℃,350MPa,160h后加50MPa的持久试验。试验结果为:TA12合金的电子束焊接接头的高温持久强度略低于母材,持久拉伸试样均断裂于距焊缝中心较远的母材区。外加应力较低时,持久变形机制为扩散控制的位错攀移机制,试样断裂于接头熔合区,外加应力较高时,持久变形转由位错滑移机制控制,持久试样断裂在母材区^[4]。因此电子束焊接TA12合金可获得高温性能良好的焊接接头。测试结果见表7。

表7 焊接接头的持久性能

试块编号	试验条件	持久寿命 /h
4 [#]	550℃ /350MPa, 160h后加力 50MPa	185
		173
5 [#]		171
		173
6 [#]		200h后加力拉断
		200h后加力拉断

注:试样均断裂于母材区。

3 结论

① 通过电子束焊接TA12改进型合金,由于快速冷却将导致焊缝熔合区中发生马氏体相变,在β柱状晶内生成细长的α'板条马氏体。而在热影响区,焊后冷却的过程中,β相转变为β转变组织或α'马氏体相,距离熔合区越远,热影响区的温度越低,此时只有部分α相转变成了β相,焊后冷却的过程中,剩余的初生α相将保留到室温,而β相将转变为β转变组织或α'马氏体相。

② 通过板材TA12合金的母材和焊接接头机械性能对比试验,可以得出:TA12钛合金板材性能稳定,焊缝成型性较好,焊接接头的拉伸、持久性能与母材相当,可以用作焊接结构件进行焊接。

参 考 文 献

[1] 《中国航空材料手册》编辑委员会. 中国航空材料手册,第4卷,钛合金铜合金. 北京:中国标准出版社,2002.
 [2] 郝传勇,李正林,毛先锋. Ti-55M高温Ti合金焊缝塑RESEARCH学术论文性的改善. 金属学报,2001,37(7):709-712.
 [3] 付鹏飞,黄锐. TA12钛合金电子束焊接组织性能及残余应力分析. 焊接学报,2007,28(2):82-84.
 [4] 陈志勇,王清江. Ti-60钛合金电子束焊接接头高温下的失效和变形行为. 金属学报,2008,44(3):264-271.

(责编 玉龙)