

TA15 钛合金电子束焊平行焊缝形貌及显微组织研究

Research on Morphology and Microstructure of Parallel Welding Seam of TA15 Titanium Alloy EB Welding

北京航空制造工程研究所 张庆云 李晋炜 陆业航 李众城

[摘要] 对 TA15 钛合金厚板电子束焊接均匀焊缝即熔合线近似平行的焊缝的电子束焊接工艺进行了研究,获得了一系列均匀焊缝的焊接工艺方法。选用加速电压为 140kV、焊接速度 600mm/min,聚焦电流 318mA 和 338mA,电子束流 43mA 和 50mA 的工艺条件获得了 2 种形状的焊缝。研究表明,电流越大,焊缝显微组织越粗大,热影响区越宽,接头显微硬度曲线也越平滑。

关键词: 钛合金 电子束焊接 焊缝形貌 平行焊缝

[ABSTRACT] Two different parallel welding seam of TA15 Titanium alloy EB welding joints are obtained by using the right parameter under 140kV accelerated voltage, 600mm/min velocity, 318mA and 338mA focus current, 43mA and 50mA electron beam current. The result shows that high current results in the coarser grain size, wider heat affected zone and smoother microhardness curve.

Keywords: Titanium alloy Electron beam welding Welding morphology Parallel welding seam

近 α 型 TA15 钛合金,名义成分为 Ti-6.5Al-2Zr-1Mo1V,具有较好的工艺性能,且焊接性能优异,可用来制造飞机隔框、壁板等工作温度较高、受力较复杂的重要结构零件^[1]。电子束焊接时电子束的能量密度可达 $10^7 \sim 10^9 \text{W/cm}^2$,这样不但可以实现高速焊接、深穿透焊接,而且焊接变形量很小^[2-3]。

一般认为,获得中大厚度的钛合金电子束焊的近似平行的焊缝,可保证焊缝熔合区组织的均匀性及力学性能的连续性,从而确保结构件的稳定。在电子束焊接中,通过调整焊接参数可以获得平行焊缝,这在之前的研究中已得到证实^[4-5],但在不同焊接工艺下得到不同形貌和熔宽的焊缝相关研究较少。本课题选取适当电子束焊接参数,获取不同熔宽的 TA15 钛合金平行焊缝,比较它们之间的接头组织,研究不同焊缝形貌对接头性能的影响。

1 试验方法

试验材料为 20mm 厚轧制退火态 TA15 钛合金,其

化学成分见表 1。

表1 TA15 钛合金化学成分质量分数 %

Al	V	Mo	Zr	C	Fe	Si	Ti
6.72	2.32	1.77	2.19	0.0053	0.08	0.14	余量

去除钛合金表面污染物,用 ZD150-15A 型高压电子束焊机实现对接真空焊接。固定加速电压 140kV、焊接速度 600 mm/min,聚焦电流 318mA 和 338mA、电子束流 43mA 和 50mA 条件下获得 2 种形状的焊缝。



2 试验结果及讨论

2.1 不同焊缝形貌对接头组织的影响

研究表明,平行焊缝形貌特征一般分为钉形和钟罩形。在其他焊接参数不变的情况下,改变聚焦电流和电子束流获得这 2 种形貌的接头,其相关参数及焊缝形貌见表 2。

从表 2 中可以看出,随着聚焦电流和电子束流的增加,焊缝表面余高减少,底端尖角形状趋于平缓,焊缝熔宽加宽,焊缝形貌由钉形转变为钟罩形。

表2 接头焊缝形貌及熔宽尺寸

试样编号	A	B
焊缝形貌		
焊缝形状	钉形	钟罩形
聚焦电流/mA	318	338
电子束流/mA	43	50
焊缝熔宽/mm	2.2	4.0

根据之前的研究,平行焊缝上部、下部组织与性能相似,因此只对不同聚焦电流和电子束流下接头焊缝中心处显微组织进行探讨,参见图 1。TA15 钛合金电子束焊接熔池结晶过程具有与热影响区晶粒联生结晶、外延

生长的特点。因此,焊缝中心为等轴晶粒,柱状晶垂直于焊缝中心、对向生长,内部为魏氏组织。钟罩形焊缝热输入较大,较为集中,晶粒易于长大,因此其马氏体针较钉形稍粗大。

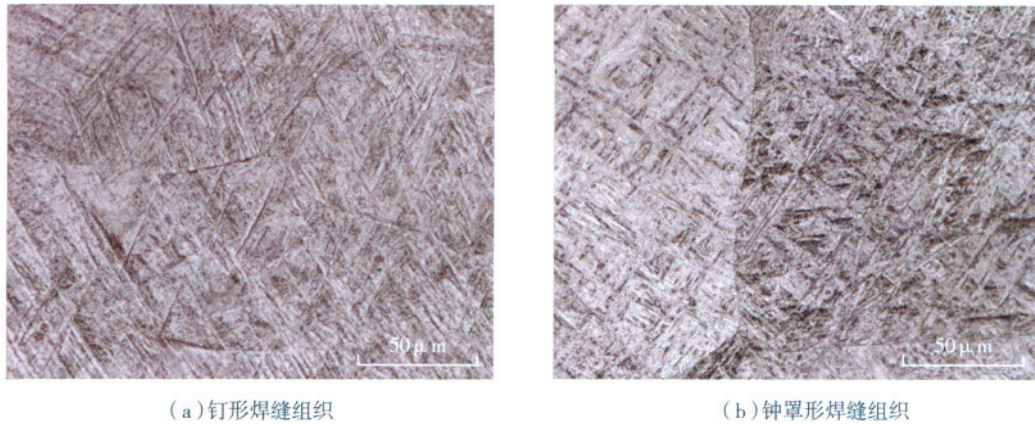


图1 不同形貌接头焊缝中心处的组织

Fig.1 Microstructure of welding seam center with different welding morphology

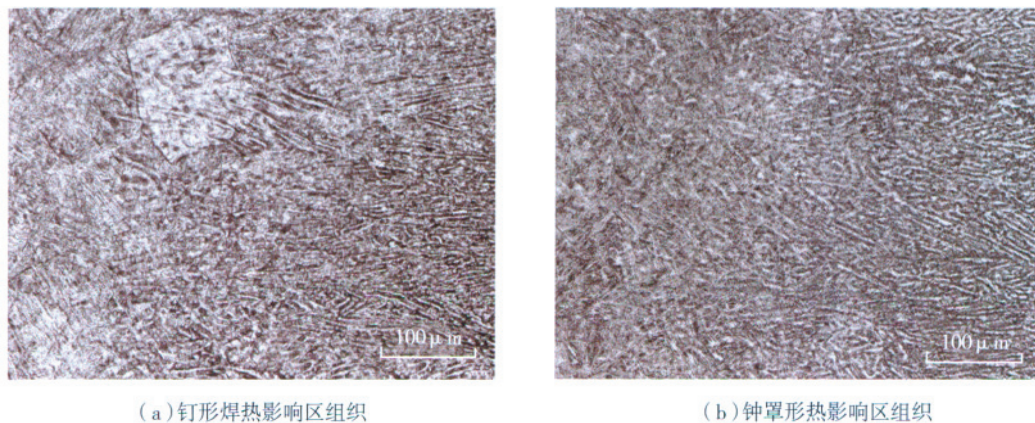


图2 不同形貌接头的热影响区组织

Fig.2 Microstructure in the heat affected zone with different welding morphology

不同焊接参数下的接头热影响区组织参见图 2。钉形接头焊缝及热影响区较窄,接头组织变化显著,从焊缝的魏氏组织到包括粗晶区、细晶区的热影响区,再到网篮状母材组织,各区域分界明显。而钟罩形焊缝热影响区较宽,与焊缝和母材的过渡较为平缓。

2.2 不同焊缝形貌对接头显微硬度的影响

不同焊接参数下接头显微硬度的分布趋势相同,如图 3 所示。2 种焊缝形貌的接头从母材到焊缝区域,硬度值不断增大。钉形焊缝的显微硬度值变化率较大,曲线更为陡直,而钟罩形焊缝熔宽较大,马氏体针较粗,硬度值偏低,且变化平滑。

在不同的工程应用中,依据特定的要求往往需要不同宽度的焊缝。有的要求熔宽较窄、硬度较高的焊缝,有的需要熔宽较大,焊缝横向、纵向性能差异均不大的

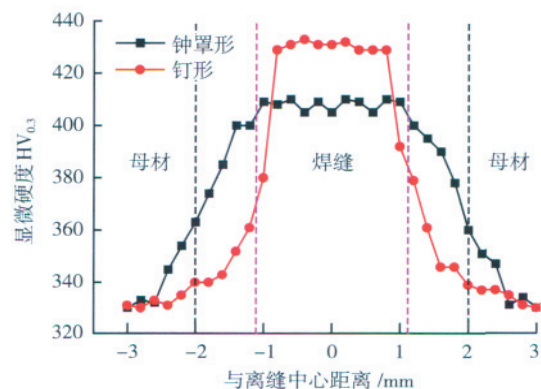


图3 不同焊缝形貌接头的显微硬度

Fig.3 Microhardness of welding joints with different welding morphology

(下转第 110 页)

3 结论

(1) 位错滑移是两相钛合金室温变形的的主要变形方式。当晶粒大小在 $10\mu\text{m}$ 以上时, 钛合金 α 相内先变形, 而晶粒大小在 $3\mu\text{m}$ 以下时, 先在 β 相或 α/β 界面处的 α 相内变形。在 Ti6Al4V 钛合金拉拔过程中, 第一阶段, 大晶粒的基面滑移 $\langle a \rangle$ 滑移 $\{10\bar{1}0\}$ 和柱面 $\{10\bar{1}0\}$ 同时激活; 在第二阶段, 小晶粒间的晶间变形和 β 相变形占主要变形方式; 第三阶段, 所有晶粒的滑移系都被激活。

(2) 钛合金的组织变化和性能强化分为 3 个阶段: 应变量为小于 0.30 时, 主要为位错缠结的产生; 第二阶段为低角度的几何必须晶界的形成; 第三阶段为低角度向高角度转变, 是钛合金冷变形过程中晶粒细化的主要机制。

(3) 随着冷变形量的增大, 强度增大, 塑性减小, 当变形量小于 0.60 时, 晶粒大小变化不明显, 合金主要由变形位错强化引起。当变形量大于 0.60 后, 随加工变形量增大, 宏观晶粒变形, 呈纤维状, 晶粒细化。当变形量在 0.90 以后, 晶粒尺寸达到 $100\sim 200\text{nm}$ 左右, 材料的强度达到 1250MPa , 塑性在 3% 左右。此时合金强化是位错强化和细晶强化的共同作用。

参考文献

[1] Francillette H, Benmaouche M, Gauquelin N. Anisotropic behavior of a Ti-6Al-4V sheet during cold rolling: Evidence of macroscopic shearing. *Journal of Materials Processing Technology*, 2008, 198 (1-3): 86-92.

[2] 崔雪飞, 余明, 陈海珊, 等. β 型钛合金 TB2 超高强线材. *稀有金属*, 2008, 32 (2): 176-179.

[3] 林海峰, 曹继敏, 王廷询, 等. 眼镜架用 Ti-22V-4Al 合金丝制备工艺研究. *稀有金属快报*, 2007, 26 (6): 26-29.

[4] 罗丽娟, 周廉, 于振涛. 冷轧及退火工艺对近 β -钛合金管材组织与力学性能的影响. *稀有金属材料与工程*, 2006, 35 (5): 787-790.

[5] Bozzolo N, Dewobroto N, Wenk H R, et al. Microstructure and microtexture of highly cold-rolled commercially pure titanium. *Journal of Materials Science*, 2006, 42 (7): 2405-2416.

[6] Ambard A, Guétaz L, Louchet F, et al. Role of interphases in the deformation mechanisms of an α/β titanium alloy at 20 K. *Materials Science and Engineering A*, 2001, 319-321: 404-408.

[7] Castany P, Pettinari-Sturmel F, Crestou J, et al. Experimental study of dislocation mobility in a Ti-6Al-4V alloy. *Acta Materialia*, 2007, 55 (18): 6284-6291.

[8] Castany P, Pettinari-Sturmel F, Douin J, et al. In situ transmission electron microscopy deformation of the titanium alloy Ti-6Al-4V: Interface behaviour. *Materials Science and Engineering A*, 2008, 483-484 (14): 719-722.

[9] Cao W Q, Yu S H, Chun Y B, et al. Deformation mechanism of Zr702 processed by equal channel angular pressing. *Metallurgical and*

Materials Transactions A, 2007, 38 (11): 2805-2814.

[10] Zhu K. Nanostructure formation mechanism of α -titanium using SMAT. *Journal of Materials Research*, 2004, 52 (14): 4101-4110.

[11] Zeng Z, Jonsson S, Roven H J. The effects of deformation conditions on microstructure and texture of commercially pure Ti. *Acta Materialia*, 2009, 57 (19): 5822-5833.

[12] Zaefferer S. A study of active deformation systems in titanium alloys: dependence on alloy composition and correlation with deformation texture. *Materials Science and Engineering A*, 2003, 344 (1-2): 20-30.

[13] Liu J M, Chou S S. Study on the microstructure and formability of commercially pure titanium in two-temperature deep drawing. *Journal of Materials Processing Technology*, 1999, 95 (1-3): 65-70.

[14] Zhu Y T, Huang J Y, Gubicza J, et al. Nanostructures in Ti processed by severe plastic deformation. *Journal of Materials Research*, 2003, 18 (8): 1908-1917.

[15] Wen M, Liu G, Gu J, et al. Dislocation evolution in titanium during surface severe plastic deformation. *Applied Surface Science*, 2009, 255 (12): 6097-6102.

[16] Yang Y, Wu S Q, Li G P, et al. Evolution of deformation mechanisms of Ti-22.4Nb-0.73Ta-2Zr-1.34O alloy during straining. *Acta Materialia*, 2010, 58 (7): 2778-2787.

(责编 小城)

(上接第 106 页)

焊缝。为了满足不同生产要求, 可以通过改变聚焦电流、电子束流、电子束偏摆扫描的频率及幅度等参数获得不同形状的焊接接头。

3 结论

(1) 选择适当的电子束焊焊接工艺参数, 获得 TA15 钛合金厚板接头的钟罩形和钉形焊缝。当聚焦电流和电子束流较大时, 可获得马氏体针细小、均匀, 热影响区更窄的钉形焊缝。

(2) TA15 钛合金的电子束焊接接头焊缝显微硬度大于母材和热影响区。钟罩形接头显微硬度变化较为平缓, 而钉形接头的曲线更为陡直。

(3) 为获得接头各部位形状、组织及性能相近的焊接接头需要合理选择焊接工艺, 从而得到所需熔宽的平行焊缝。

参考文献

[1] 李兴无, 沙爱学, 张旺峰, 等. TA15 合金及其在飞机结构中的应用前景. *钛工业进展*, 2003, 20 (4): 90-94.

[2] 胡刚, 李晋炜, 付纲. 热处理对 TA15 钛合金电子束焊接接头力学性能和微观组织的影响. *航天制造技术*, 2005, 4: 1-4.

[3] 刘瑞民, 李兴无, 沙爱学. TA15 合金板材的组织 and 性能研究. *材料开发与应用*, 2005, 20 (4): 23-26.

[4] 赵明书, 郭福, 毛智勇, 等. TA15 钛合金电子束焊平行焊缝的获得方法. *新技术新工艺*, 2009, 2: 105-107.

[5] 宫平, 罗宇, 王亚军, 等. TC4 钛合金电子束焊接工艺参数对焊缝形状的影响. *航空制造技术*, 2008 (6): 72-75. (责编 良辰)