

选区激光熔化 TC4 钛合金电子束焊接试验研究

董鹏 梁晓康 陈济轮 黑艳颖 田彩兰

(首都航天机械公司, 北京 100076)



摘要: 初步研究了选区激光熔化成形 TC4 钛合金的电子束焊接性。试验采用中压电子束对 4mm 厚试片进行焊接。焊后采用光学显微镜、显微硬度计、拉伸试验机评价了接头的显微组织和力学性能。选区激光熔化 TC4 焊缝与板材焊缝类似, 接头的抗拉强度为 1278MPa, 达到母材 90% 以上。

关键词: 选区激光熔化; TC4 钛合金; 电子束焊接

Electron Beam Welding of Selective Laser Melted TC4 Titanium Alloy

Dong Peng Liang Xiaokang Chen Jilun Hei Yanying Tian Cailan

(Capital Aerospace Machinery Company, Beijing 100076)

Abstract: In this paper, the electron beam weldability of selective laser melted TC4 titanium alloys was investigated preliminarily. The optical microscope, microhardness and tensile test were used to analyze the characteristic of the electron beam welded joint. The good electron beam weldability was shown from the analysis results. The tensile strength of selective laser melted TC4 joints was 1278MPa.

Key words: selective laser melting; TC4 titanium; electron beam welding

1 引言

钛合金具有良好的比强度、比刚度以及耐腐蚀性等优点, 从 20 世纪 50 年代起作为航空航天领域一种重要结构材料广泛地应用于飞行器结构的制造。但是钛合金成本高、加工困难, 其加工工艺性远不如铝合金等其他常用结构材料, 例如, 钛合金的经济切削速度小于 60m/min, 并且需要专用工具^[1]。选区激光熔化成形技术是一种基于粉床铺粉、振镜扫描的金属材料激光增材制造技术, 具有成形精度高、表面质量好等优点, 并且基于粉床铺粉逐层制造的方式特别适于制造悬臂、内流道等复杂型腔的结构。因此, 该技术一经提出就被认为是钛合金等难加工材料复杂构件一种理想的制造技术^[2~4]。目前商用选区激光熔化成形设备受到振镜扫描以及设备成形腔的限制, 其成形

腔投影面积大多为 250mm×250mm, 并且选区激光熔化成形效率偏低, 成本较高。对于一些零件往往还需进行焊接等后处理才能实现整个零件的制造。电子束焊接具有能量密度高、热影响小等特点, 并且在真空进行焊接, 避免大气环境中钛合金焊接时氧、氢、氮带来的不良影响。国内外高校、研究所等研究机构对钛合金的选区激光熔化成形技术以及电子束焊接技术都进行了大量的研究工作^[5, 6], 但是对于选区激光熔化成形制备钛合金的电子束焊接未见相关报道。

本文采用中压真空电子束焊机对选区激光熔化成形制备的 TC4 钛合金试片进行电子束焊接试验。焊后对接头的焊缝成形、显微组织以及力学性能进行了分析。

2 试验条件与方法

作者简介: 董鹏 (1983-), 工程师, 光学工程专业; 研究方向: 激光焊接与增材制造。

收稿日期: 2014-02-17

试验材料为选区激光熔化制备的 TC4 钛合金。采用线切割沿垂直于生长方向将 TC4 钛合金试块切割为 4mm 厚试片，然后用砂纸打磨掉线切割影响层。焊前采用硝酸、氢氟酸混合溶液(3%HF+30% HNO_3 水溶液)去除试片待焊面氧化层，清水洗净后吹干待焊。

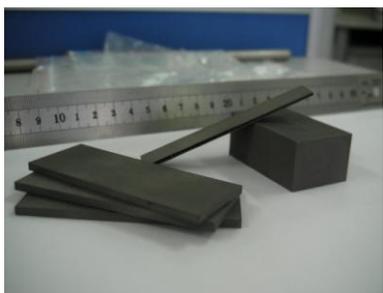


图 1 选区激光熔化成形 TC4 试片

电子束焊接试验采用中压电子束焊机，焊后采用光学金相显微镜对接头组织进行分析，通过显微硬度以及静载荷拉伸试验对接头的力学性能进行分析。

3 试验结果分析

3.1 焊缝组织形貌

图 2 为焊缝横截面，焊缝成形良好，形状与 TC4 钛合金板材电子束焊缝类似。在焊缝中可以发现垂直于熔池冷却方向凝固形成组大的柱状 β 相。

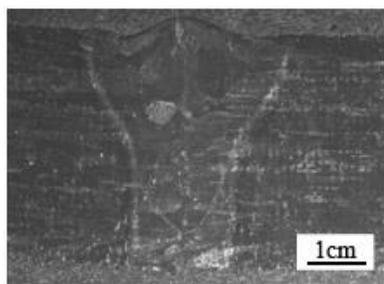
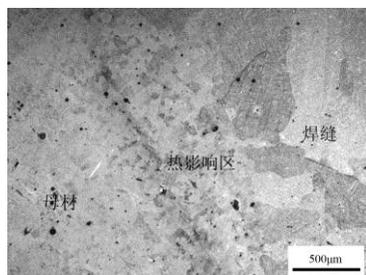
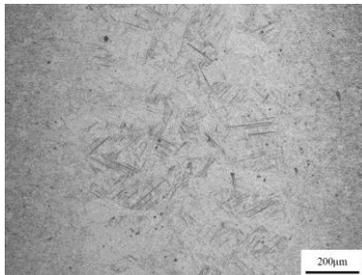


图 2 焊缝宏观形貌

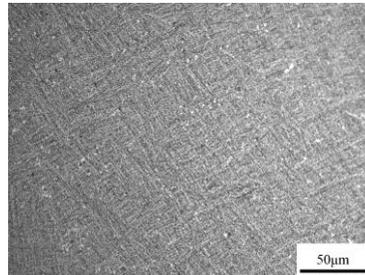
图 3 为焊缝中不同位置的显微组织。其中图 3a 为靠近母材位置的显微组织，焊缝中 β 柱状晶以母材为基底外延结晶。柱状晶内为针状马氏体 α' 相，如图 3b 所示。对焊缝进一步观察发现，在针状马氏体 α' 相存在二次析出细小的针状 α' 相，呈交错的网状组织。



a 熔合线显微组织



b 焊缝显微组织



c 交错的网状 α' 相

图 3 焊缝显微组织

3.2 接头力学性能

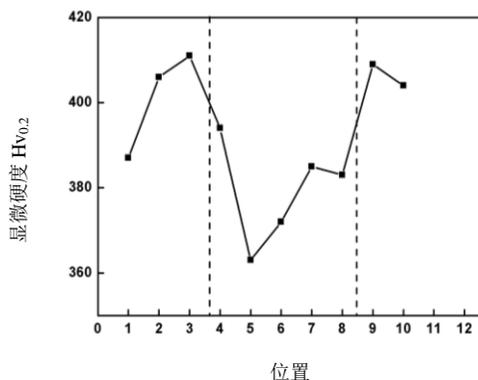


图 4 接头显微硬度

图 4 为接头中母材-焊缝-母材的显微硬度分布。焊缝区的显微硬度不均且低于母材以及热影响区的显微硬度。这是由于母材采用选区激光熔化成形制备，母材中硬度较高的针状马氏体 α' 相分布较为集中，其显微硬度高于锻造/轧制钛合金板材的显微硬度。而焊缝区域的组织由母材熔化后重新凝固而成，晶粒尺寸要比母材中大，因此显微硬度有所下降。

接头抗拉强度为 1278MPa，达到了成形态 TC4 母材 90% 以上。断裂发生在靠近母材的焊缝区，如图 5 所示。

(下转第 29 页)

